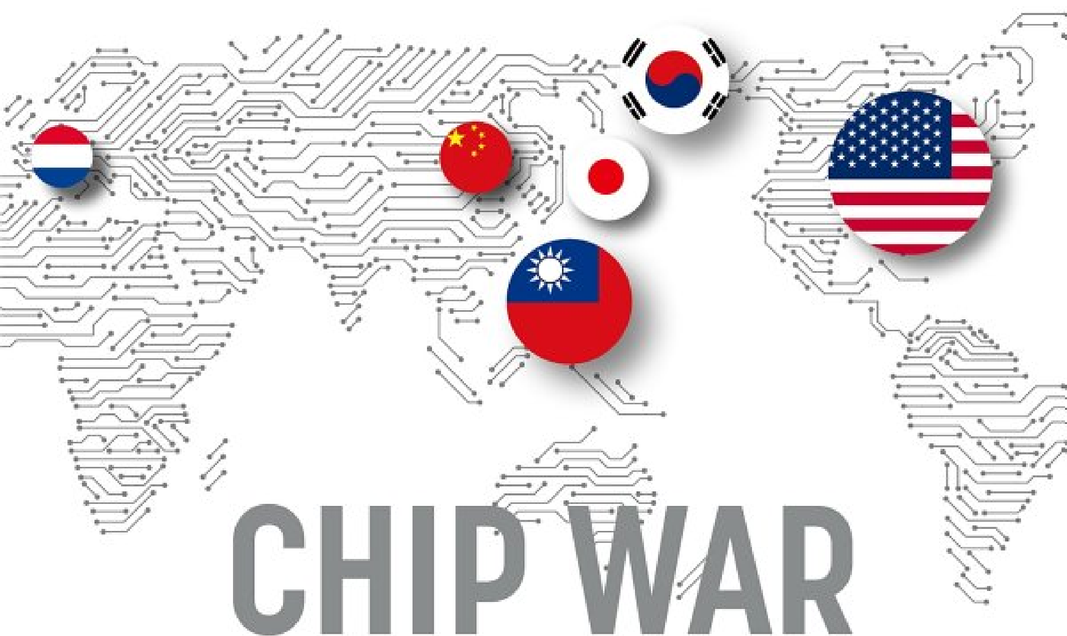
晶片戰爭

矽時代的新賽局，解析地緣政治下
全球最關鍵科技的創新、商業模式與台灣的未來



CHIP WAR

The Fight for the World's Most Critical Technology

克里斯・米勒 CHRIS MILLER——著

洪慧芳——譯

晶片供應鏈左右了上世紀冷戰的輸贏，更將決定本世紀強權競爭的終局
大國競逐加速升溫，台灣更是站在關鍵位置，下一個引爆點會在哪？

《金融時報》年度最佳商業書｜《經濟學人》年度最佳新書｜《紐約時報》暢銷書
亞馬遜書店分類榜 TOP1｜繁體中文版獨家作者序，解析晶片法案後美中台新局勢

VISIT...

LANZAROTE Caliente.com

晶片戰爭

矽時代的新賽局，解析地緣政治下
全球最關鍵科技的創新、商業模式與台灣的未來



CHIP WAR

The Fight for the World's Most Critical Technology

克里斯・米勒 CHRIS MILLER——著

洪慧芳——譯

晶片供應鏈左右了上世紀冷戰的輸贏，更將決定本世紀強權競爭的終局
大國競逐加速升溫，台灣更是站在關鍵位置，下一個引爆點會在哪？

《金融時報》年度最佳商業書 |《經濟學人》年度最佳新書 |《紐約時報》暢銷書
亞馬遜書店分類榜 TOP1 | 繁體中文版獨家作者序，解析晶片法案後美中台新局勢

晶片戰爭

矽時代的新賽局，解析地緣政治下
全球最關鍵科技的創新、商業模式與台灣的未來

CHIP WAR

The Fight for the World's Most Critical Technology

克里斯・米勒 Chris Miller——著

洪慧芳——著

〖繁體中文版獨家作者序〗
不斷升溫的晶片戰，下一個關鍵點在哪？

「感謝台積電的每個人，尤其是張忠謀。」2022年12月6日，美國總統拜登在台積電即將在亞利桑那州鳳凰城興建的新晶圓廠Fab 21的設備移機典禮上說道。台積電將首次在台灣以外的地區建造先進的生產設施。台積電主要客戶的執行長都出席了典禮，包括蘋果的庫克（Tim Cook）與AMD的蘇姿丰（Lisa Su），顯示他們支持在美國興建更多的晶片產能。「各位，美國的製造業回來了，」拜登表示，「美國的製造業回來了！」

張忠謀偕同台積電現任執行長劉德音一起出席那場典禮。媒體採訪時，張忠謀提出了不太一樣的解讀。「全球化幾乎已死亡，自由貿易也幾乎消失了。」他引用地緣政治變化來解釋，「很多人仍希望它們能回來，[1]但我認為它們不會回來了。」

在晶片業，沒有人比張忠謀更瞭解正在發生的變化。他在德儀開啟職業生涯，當時德儀正專注為美軍製造微電子產品。1960年代，他曾領導晶片業在台灣等國建造組裝廠。「晶圓代工」模式正是張忠謀的發想，這種模式把晶片設計從製造分離出來，然後針對製程，建立了一家規模龐大又極其成功的公司。張忠謀比任何人更貼近那個把美中台緊密交織在一起的超複雜供應鏈樞紐，也更貼近那些扯斷供應鏈的軍備競賽與地緣政治競爭。

拜登造訪亞利桑那州的同時，台積電也宣布將把在亞利桑那州的投資規模擴充為原來的三倍，達到400億美元，其中包括興建一座預定於2026年導入[2]3奈米製程的晶圓廠。在典禮上，張忠謀把在美國建立晶圓廠比喻成一

個「夢」，但他對於在美設廠的前景

3

並不是一直那麼振奮。2022年4月，張忠謀受訪時表示，台積電在亞利桑那州的投資是「在美國政府的敦促下」進行的，並直指：「決定當時，我已經退休了。

4

這個決定是由現任董事長做的。」

張忠謀解釋，他對於亞利桑那州的明顯疑慮，源自於台積電以前在美國投資的經驗。1997年，張忠謀在華盛頓州設立一家名為WaferTech的小廠，結果令人失望。張忠謀回憶道：「剛開始的時候，工廠混亂到不行，意外頻傳。」他指出，即便是今天，該廠的成本也比台灣的同級工廠高出約50%。因此，張忠謀在2022年4月時曾表示，美國為了推動國內晶片製造所投注的任何心血，都將是「非常昂貴的徒勞行動」。他也很快補充道：「我是假設不會發生任何戰爭。坦白講，如果台灣海峽爆發戰爭，那我認為

5

美國要擔心的，不單只是晶片而已。」

然而，美方對戰爭的擔憂正持續升溫。2022年稍早，普丁發動大軍入侵烏克蘭，震驚了美國。數以萬計的俄軍湧入烏克蘭邊境，烏克蘭的城市被戰機轟炸，關鍵的基礎設施也被飛彈攻擊。許多人天真地以為歐洲不可能發生大規模的傳統戰爭。許多人認為俄羅斯的精英階層唯利是圖、沉迷於他們停泊在法國蔚藍海岸的遊艇，因此不會為了烏克蘭這個歐洲貧國而冒險發動戰爭。普丁竟然打著建立在歷史迷思上的激進民族主義，願意讓他的國家陷入血腥戰爭、讓俄國的經濟陷入痛苦的危機，此舉震驚了西方國家。以前大家以為世界上的獨裁者都是關注自身利益的理性政客。如今這種觀點開始失去說服力，或者說，至少不再那麼肯定。

突然間，中國領導人習近平的盤算似乎變得更加危險。畢竟，中國的軍力持續壯大。人民解放軍正在測試令美國國防部大感意外的

6

高超音速飛彈，中國正在擴大核武庫的規模。2022年8月3日，美國眾議

院議長裴洛西訪台（以往美國的國會議長亦曾訪台），拜會了台灣總統蔡英文與張忠謀。中國還為此發表尖刻的聲明，並發動了模擬封鎖台灣的軍事演習。

據報導，張忠謀告訴裴洛西，美國重建國內晶圓代工業的努力

註定會失敗，但美國政府並不認同這番說法。在裴洛西訪台六天後，拜登總統簽署了國會以兩黨多數通過的〈晶片與科學法案〉（Chips and Science Act），提撥520億美元來激勵美國的晶片製造，同時撥出數百億美元投資未來的科學與研發。白宮發布新聞稿，承諾該法將「降低成本」、「創造就業」、「強化供應鏈」，這一切都掀起了許多討論。國會之所以通過這項法案，原因很簡單：在台灣與中國以外的地區提供額外的晶片產能，以防戰爭爆發。

520億美元的政府激勵措施是吸引新投資的強烈誘因。美國商務部打算斥資390億美元，直接補貼晶片製造——透過一系列的補助金與貸款擔保，抵銷建廠的巨額成本。此外，該法也提供逾120億美元的資金，設立國家半導體技術中心（National Semiconductor Technology Center）及其他促進晶片業研發的措施。

除了這筆新資金以外，美國政府也祭出新招數。晶片法案中有一項條款規定，任何接受該法資助的公司，都不得投資中國的製造廠，只有低技術的晶片廠是例外。不僅包括三星、台積電等亞洲公司，也包括美光、英特爾等美國巨擘，多數主要的全球晶片製造商都在中國經營晶圓廠或組裝廠。所以美國政府等於是對這些晶片製造商施壓，要求他們在中國與美國之間做出選擇。

兩個月後的10月7日，隨著拜登政府宣布對中國晶片業實施全面的出口管制，上述的壓力又加劇了。美方採取雙管齊下的策略：限制中國取得先進的GPU晶片，也牽制中國的晶片製造力，阻止中國在AI領域的進步。拜登的國家安全顧問傑克．蘇利文（Jake Sullivan）在宣布這項消息的幾週前做了一場演講。他在演講中提到，美方這樣做的目標，是為了在先進晶片的領域「盡量維持最大的領先優勢」。他表示：「我們

以前是採取浮動法，也就是說，只需在技術上領先幾代，但現在的戰略環境已今非昔比。」

訓練AI系統（如此一來，電腦才能發揮智慧，例如判斷四腳毛茸動物是貓還是狗）需要名為GPU的先進晶片。全球GPU設計的龍頭是美國的輝達（Nvidia），AMD緊追在後。中國也有幾家公司設計GPU，尤其是壁仞科技（Biren），但相較於美國的競爭對手，它們的市場地位很小。這些晶片都必須以先進的工藝製造，這使得台積電與三星的晶圓廠成了關鍵的鎖喉點。美國新祭出的出口管制，禁止向中國轉移超過某個技術門檻的GPU，所以阻止了輝達在中國銷售最先進的晶片，也阻止了壁仞把晶片交由台積電代工生產。

再者，為了讓中國繼續依賴進口的先進晶片，拜登政府大幅擴大了出口管制，禁止出口美製16奈米以下製程的晶片製造設備到中國（[8]台積電從2013年起開始生產這種晶片）。美國也對記憶體晶片設下類似的技術門檻。中國的主要晶片製造商，包括中芯國際（中國最大的邏輯晶片代工廠）及長江存儲（即將在NAND快閃記憶體領域，達到世界級的技術能力），如今在取得製造設備方面都面臨了巨大的挑戰。

第三，製造晶片設備的中國公司，本來想像自己是ASML或應用材料公司（Applied　Materials）的未來競爭對手，現在他們購買美國技術的能力也受到新的限制。此外，美國公民與綠卡持有者也禁止與某些中國半導體公司合作。由於曾留美深造或工作的中國晶片高管人數眾多，許多人都受到這項新限制的影響。《華爾街日報》的分析發現，將有43名中國晶片公司的高管受到禁令的影響，較低階員工[9]受到衝擊的人數更多。如果沒有美國的專業知識或機台（例如沉積超薄膜材料的機器），中國在晶片製造方面不太可能在短期內達到頂尖水準。

〈晶片與科學法案〉與新的出口管制措施的結合，大幅加速了半導體供應鏈早已開始的分化，導致外資對中國晶片業的投資幾乎完全停滯。台積電、韓國SK海力士等仍在中國設廠的外國公司，如今若想把任

何先進設備搬到自家的中國廠，都需要獲得美國政府的許可，他們也必須避開〈晶片與科學法案〉設下的「護欄」。事實上，有好幾個國家正在討論限制對外投資（亦即管制中國晶片業投資的新規定），這又進一步阻止大家思考這方面的前景。

此外，在晶片製程的下游，電子公司正在重組供應鏈。多年來，個人電腦與智慧型手機的製造商主要是受到可靠性與價格的影響。現在他們做投資決策時，也會考慮政治與安全問題。筆電與伺服器的製造商惠普（HP）正在探索以墨西哥作為替代中國的生產中心。與此同時，蘋果正把更多的iPhone、AirPods、MacBook的組裝轉移到越南與印度。一些分析師估計，到2025年，可能會有四分之一的iPhone在中國以外生產，目前幾乎全都是在中國生產。最引人注目的是，據報導，戴爾（Dell）將在2024年以前逐步淘汰所有中國生產的晶片。中國不斷上升的勞力成本，以及新冠清零政策所造成的破壞，導致企業開始變成只在中國製造技術較低的設備。不過，關鍵影響因素在於，這些公司與張忠謀不同，他們不太相信亞洲不會爆發戰爭。

在美國，〈晶片與科學法案〉使半導體業者宣布設立新廠的消息暴增。台積電不是唯一宣布開設新廠的非美國公司。據報導，三星正考慮在德州建新廠。生產空白矽晶圓的台灣公司環球晶圓（GlobalWafers）正計畫在德州投資50億美元建新廠。ASML正在擴建康乃狄克州的製造廠。

與此同時，美國晶片製造商也宣布了一系列建廠消息。美光承諾斥資200億美元在紐約建新廠，那裡離IBM歷史悠久的紐約州生產中心不遠，而IBM的生產中心也承諾斥資200億美元升級。英特爾也表示將在俄亥俄州的新廠做金額類似的投資。德儀、沃孚半導體（Wolfspeed）、格芯（GlobalFoundries）等其他晶片公司都有新的投資計畫。

當然，這些新廠的設立不全然是〈晶片與科學法案〉催生的。有些新廠是本來就有的興建計畫。此外，承諾投資200億美元的新聞稿，也不保證公司一定會投入那麼多資金。那些專案可能持續很多年，在那段

期間，市場狀況可能改變，優先順位可能變動。不過，我們已經清楚看到〈晶片與科學法案〉的製造業激勵措施將促成更多的晶片製造產能。

這讓其他擁有主要晶片業的國家感到緊張。歐盟也推出自己的晶片法案來因應，承諾提供數百億歐元的資金，但計畫的細節仍不明朗。韓國政府正在規劃一套新的稅賦優惠措施，以便與美國的〈晶片與科學法案〉競爭。日本政府成立一家新公司Rapidus，其商業模式很獨特，是以較小批量生產先進晶片。與此同時，台灣的政治辯論則是把焦點放在，台積電到亞利桑那州、日本、其他地方的投資，會不會「掏空」台灣最關鍵的產業。然而，考慮到台積電的獨特能力，再加上台積電最先進的製程仍留在台灣，這種風險其實被誇大了。

事實上，台灣晶片業面臨的最大威脅仍是中國。不止台灣的軍方必須擔心中國，台灣的晶片製造商也必須擔心中國。美國的出口管制，將在短期內阻止中國公司製造先進晶片。然而，中國擁有製造低階晶片所需的一切設備。此外，近年來，中國政府承諾向晶片業投入巨額資金，其中大部分的資金已用來建設低階晶片的產能。假設那些產能中有很多正式投產（雖然還不一定，但看起來很有可能），低階市場將出現供過於求的局面。

低階晶片過剩，對美國這樣的國家來說不會有太大的影響。因為晶片製造外移，美國生產的這類晶片本來就不多。然而，這會對台灣造成很大的影響。儘管台積電的收入大多來自最先進的生產節點，但生產5奈米或3奈米晶片的成本非常高。製造它們所需的一切設備與工廠都是全新的，需要投入大量資金。相較之下，台積電仍在生產20年前的「先進」晶片。那些晶片的生產設備是幾十年前購買的，因此套用會計術語來說，那些設備已經完全折舊。換句話說，台灣公司生產低階晶片的成本很低，因此銷售低階晶片的利潤很高。如果中國公司能靠政府補貼，以割喉價來搶占低階市場的一大部分，台灣的晶片製造商將淪為輸家。

當然，中國政府不見得會持續在晶片業挹注上百億美元的資金。2014年左右，中國把晶片列為重點產業是政治決定，因此新的政治風向可能會導致中國政府改變重點產業。中國的補貼帶來了一些暫時的成

果，例如中芯國際有先進的邏輯晶片生產；壁仞有卓越的GPU設計。但如今，中國幾乎各大成果都遭到美國新的出口管制。這使得「中國推動半導體自給自足」這件事，對中國戰略目標的達成來說變得更加重要，但代價也更高。因此，目前籠罩晶片業的問題是，面對最近晶片戰的局勢升溫，中國將如何因應：是讓步，還是加碼？

謹獻給莉雅（Liya）

重要登場人物簡介

張忠謀（Morris Chang）：全球最重要的晶片製造商台積電的創辦人，之前曾擔任德州儀器的高階主管。

安迪．葛洛夫（Andy Grove）：1980年代與1990年代的英特爾總裁兼執行長，以強勢風格及重振英特爾的事蹟著稱，著有《10倍速時代：唯偏執狂得以倖存》（*Only the Paranoid Survive*）一書。

派特．海格底（Pat Haggerty）：德州儀器董事長，領導該公司專門製造微電子產品，包括為美國軍方供貨。

傑克．基爾比（Jack Kilby）：1958年積體電路的共同發明者之一，長年在德儀任職，諾貝爾獎得主。

傑伊．萊斯羅普（Jay Lathrop）：微影成像的共同發明者之一，曾在德儀任職。微影成像是一種使用特殊化學物質與光，對電晶體刻畫幾何圖形的製程。

卡弗．米德（Carver Mead）：加州理工學院教授，快捷半導體與英特爾的顧問，是一位對技術的未來充滿遠見的思想家。

高登．摩爾（Gordon Moore）：快捷半導體與英特爾的共同創辦人，1965年提出摩爾定律，該定律預測每個晶片的運算力每兩年就會增加一倍。

盛田昭夫（Akio Morita）：索尼共同創辦人，合著《一個可以說NO的日本》一書，1970年代與1980年代代表日本企業登上世界舞台。

羅伯特．諾伊斯（Robert Noyce）：快捷半導體與英特爾的共同創辦

人，1959年積體電路的共同發明者之一，人稱「矽谷市長」，半導體製造技術聯盟的第一位領導者。

威廉．裴瑞（William Perry）：1977-1981年在美國的國防部任職，1994年至1997年擔任國防部長，他主張使用晶片生產精準打擊武器。

傑瑞．桑德斯（Jerry Sanders）：超微半導體的創辦人兼執行長，矽谷最狂妄的推銷員，積極痛批1980年代日本不公平的貿易作法。

查理．斯波克（Charlie Sporck）：在快捷半導體領導製造部門期間，推動晶片組裝外移，後來擔任國家半導體的執行長。

任正非（Ren Zhengfei）：中國的電信與晶片設計巨擘華為的創辦人，女兒孟晚舟於2018年在加拿大被捕，罪名是違反美國法律及試圖逃避美國制裁。

術語表

安謀控股公司（ARM）：一家授權晶片設計者使用指令集架構（Instruction Set Architecture，簡稱ISA，管理晶片運行的一套基本規則）的英國公司。ARM架構在行動裝置中占主導地位，正逐漸搶占個人電腦與資料中心的市占率。

晶片（又稱「積體電路」或「半導體」）：一小片半導體材料，通常是矽，上面刻著數百萬或數十億個微型電晶體。

CPU（central processing unit）：中央處理器，一種「通用」晶片，是個人電腦、手機、資料中心的運算主力。

DRAM（dynamic random access memory）：動態隨機存取記憶體，是兩種主要記憶體晶片之一，用來暫時儲存資料。

EDA（electronic design automation）：電子設計自動化，用來設計電晶體上的晶片排列及模擬其運作的專門軟體。

FinFET：鰭式場效電晶體，一種新的3D電晶體架構，2010年代初期首次採用，隨著電晶體縮小到奈米等級，這種結構可以更有效地掌控電晶體的運作。

GPU（graphics processing unit）：圖形處理器（又稱顯卡、顯示晶片或繪圖晶片），一種有並行處理能力的晶片，可用於圖形及人工智慧應用。

邏輯晶片（Logic chip）：處理資料的晶片。

記憶體晶片（Memory chip）：記憶資料的晶片。

NAND：又稱「快閃記憶體」（flash），第二種主要的記憶體晶片，用於較長期的資料儲存。

微影成像（photolithography）：又稱微影製程（lithography），這個流程是把光或紫外光照射到有圖形的光罩上，接著光與光阻劑相互作用，在矽晶圓上刻下圖案。

RISC-V：一種愈來愈受歡迎的開源架構，因為可免費使用，不像ARM和x86需付費。RISC-V的開發有部分是由美國政府資助，如今在中國很熱門，因為不受美國出口管制。

矽晶圓（Silicon wafer）：一種超純的圓形矽片，通常直徑是8或12吋，可以切割出晶片。

電晶體：微小的電子「開關」，可開啟（產生1）或關閉（產生0），產生撐起所有數位運算的1與0。

X86：主導個人電腦與資料中心的指令集架構（ISA），英特爾與AMD是生產這類晶片的主要公司。

前言

矽時代──半導體定義的世界

2020年8月18日，美國驅逐艦馬斯廷號（USS　Mustin）獨航穿越台灣海峽的北端，艦上的五吋砲口朝向南方，並重申這片國際水域並非由中國掌控——至少現在還不是。馬斯廷號往南駛去時，強勁的西南風吹過甲板。高空雲層在海面上投射的陰影，似乎一路延伸到福州、廈門、香港等大型港市，以及散布在華南沿海的其他港口。往東方看去，台灣島在遠端屹立著，一片人口稠密的廣闊沿海平原，再遠處是聳入雲端的高山。船艦上，一名戴著海軍棒球帽與外科口罩的海員舉起雙筒望遠鏡，掃視著地平線。這片水域上擠滿了商業貨輪，載著亞洲工廠生產的商品運向世界各地的消費者。

在馬斯廷號上，一排海員坐在昏暗的房間裡，面前一整排明亮的彩色螢幕，上面顯示著飛機、無人機、船隻、衛星所追蹤的[1]印太地區動向資料。在馬斯廷號的指揮駕駛室頂端，雷達陣列傳入船上的電腦。甲板上，96個發射掩體已準備就緒，每個發射掩體都能發射導彈，精準地擊中數十英里、甚至數百英里外的飛機、船隻或潛艇。在冷戰危機期間，美國軍方曾揚言以核武保衛台灣，如今則是依賴微電子技術與精準打擊。

隨著這艘滿載電腦化武器的馬斯廷號駛過台灣海峽，中國人民解放軍宣布在台灣周邊舉行一連串的報復性實彈演習，為中國官方報紙所謂的「武力統一行動」[2]進行演練。但在這一天，中國領導人擔心的不是美國海軍，而是美國商務部一項名為「實體清單」（Entity　List）的規定。這項比較鮮為人知的規定，限制了美國技術向海外轉移。之前，實體清單主要是用來阻止導彈部件或核武材料等軍事系統的銷售。然而，由於現在的軍事系統與消費品普遍都有嵌入晶片，美國政府正大幅加強對電腦晶片的嚴格管

控。

美國政府的目標正是中國的科技巨擘華為，該公司銷售智慧型手機、電信設備、雲端運算服務，以及其他的先進技術。美國擔心，華為產品挾著中國政府的補貼優勢，定價非常誘人，不久可能成為下一代電信網路的骨幹。到時候，美國主宰全球科技基礎架構的地位將會受到破壞，中國的地緣政治勢力將會增強。為了因應這個威脅，美國禁止華為購買以美國技術製造的先進電腦晶片。

不久，華為的全球擴張戛然而止，整個生產線陷入停擺，營收大幅下滑，彷彿被掐住了技術命脈，陷入技術窒息。華為就像其他的中國企業一樣，赫然發現它極度依賴外國人製造的晶片，因為所有現代的電子產品都靠晶片運作。

即便優勢已大幅削弱，美國如今仍然牢牢掌控著矽晶片（這也是矽谷名稱的由來）。中國現在每年進口晶片的支出，已經超越進口石油的支出。這些半導體嵌入中國國內消費或出口到世界各地的各種裝置中，從智慧型手機到冰箱，不一而足。紙上談兵的策略家曾指出中國面臨「麻六甲困境」（Malacca Dilemma）□□太平洋與印度洋之間的主要航運通道一以及中國在危機中取得石油與其他大宗物資的能力。然而，中國官方如今更擔心的是這種以位元組衡量的科技封鎖，而不是以桶為單位的封鎖。中國把最優秀的人才與成千上百億美元的資金投入開發自己的半導體技術，目的就是為了掙脫美國的[3]晶片鎖喉（chip choke）策略。

如果中國在半導體上發展成功，將會重塑全球經濟版圖，重新界定軍事力量的平衡。二次大戰的結果是由鋼鐵與鋁決定勢力的消長；緊隨其後的冷戰則是由原子武器決定各方勢力的盛衰。如今美國與中國之間的競爭很可能是由運算力決定。雙方的戰略家現在都意識到，所有的先進技術——從機器學習到導彈系統，從自駕車到武裝的無人機——都需要先進晶片（更正式的說法是半導體或積體電路）。而晶片的生產掌控

在極少數幾家公司的手上。

矽打造的世界

一般人很少想到晶片，但晶片創造了現代世界。國家的命運取決於它們駕馭運算力的能力。如果沒有半導體與電子產品的貿易，眾所皆知的全球化不會存在。美國的軍事霸主地位主要源自於它把晶片應用在軍事上的能力。過去半個世紀以來亞洲的驚人崛起，也是建立在矽的基礎上，因為這些不斷成長的經濟體已經把晶片製造及組裝電腦與智慧型手機等產業加以專業化，這些產業全都是靠積體電路撐起來的。

運算的核心需要無數的1與0，整個數位宇宙是由這兩個數字組成的。iPhone上的每個按鈕、每封電郵、每張照片、每支YouTube影片——這一切最終都是由大量的1與0編寫而成。但這些數字實際上並不存在，它們是電流的運算式，只有開啟（1）、或關閉（0）兩種選項。晶片是由無數電晶體所組成的網格，這些電晶體就是微小的電子開關，藉由開開關關來處理這些數字，記住它們，並把圖像、聲音、無線電波等現實世界的動感轉換為無數的1與0。

馬斯廷號向南航行的同時，海峽兩岸的工廠與組裝廠正在為iPhone 12生產大量的零組件，當時距離2020年10月的iPhone發布日只剩兩個月的時間。晶片業約有[4]四分之一的收入來自手機。而一部新手機的價格，有一大部分都是花在內建的半導體。過去十年，每一代iPhone都是採用全球最先進的處理晶片。總計，一部智慧型手機需要十幾種半導體才能運作，不同的晶片分別管理電池、藍牙、Wi-Fi、網路連線、音訊、相機等等。

這些晶片都不是蘋果生產的，蘋果是[5]採購大部分的現成晶片，例如來自日本鎧俠（Kioxia）的記憶體晶片，來自加州思佳訊（Skyworks）的無線射頻晶片，來自德州奧斯汀思睿邏輯（Cirrus Logic）的音訊晶片。蘋果內部自行設計在iPhone作業系統上

運作的超複雜處理器。但這家位於加州庫柏蒂諾（Cupertino）的巨擘無法自己製造這些晶片。美國、歐洲、日本或中國的任一家公司也無法製造。如今蘋果最先進的處理器——可說是全球最先進的半導體——只能由一家公司在一棟建築內生產，這是

6

人類歷史上最昂貴的工廠。2020年8月18日的上午，它距離馬斯廷號的右舷僅幾十英里。

半導體的製造與微型化，一直是我們這個時代最大的工程挑戰。如今，沒有一家公司能比台積電（TSMC）更精準地製造晶片。2020年，當全球因一種直徑約100奈米（1奈米等於1米的十億分之一）的病毒所造成的封城而動盪不安時，台積電最先進的Fab 18廠正在刻由微小電晶體所組成的微型迷宮，蝕刻出比新冠病毒的一半還小的圖案（約一個粒線體的百分之一大小）。台積電以人類史上前所未有的規模，複製這個製程。蘋果售出逾1億支iPhone 12，每一支都採用A14處理晶片，那晶片上刻了

7

118億個微小電晶體。換句話說，iPhone 12內建十幾種晶片，在短短幾個月內，台積電的Fab 18廠就為iPhone 12內建的一種晶片製造了超過1萬兆（quintillion）個電晶體（1萬兆這個數字有18個零）。去年，晶片業生產的電晶體數量，比人類史上所有其他產業的所有公司生產的所有商品的總和還多。任何東西的產量都無法與之匹敵。

僅僅60年前，一塊先進晶片上的電晶體數量，

8

不是118億個，而是4個。1961年，舊金山南部的小公司快捷半導體（Fairchild Semiconductor）發布一種名叫Micrologic的新產品，這是一種嵌入4個電晶體的矽晶片。不久，這家公司就設計出把12個電晶體嵌入晶片的方法，接著電晶體的數量又增至100個。快捷的共同創辦人高登．摩爾（Gordon Moore）在1965年注意到，隨著工程師學會製造愈來愈小的電晶體，每個晶片上可嵌入的元件數量每年都會增加一倍。這個預測——晶片的運算力將呈指數級成長——後來稱為「摩爾定律」（Moore’s Law），並促使摩爾預測了一些裝置的發明，那些裝置在

1965年看來簡直不可思議，充滿了未來色彩，例如「電子錶」、「家用電腦」，甚至「個人隨身通信裝置」。從1965年展望未來，摩爾預測未來十年將呈指數級成長，但這種驚人的進步速度如今已持續了半個多世紀。1970年，摩爾創立的第二家公司英特爾（Intel）推出一款可儲存1024條資訊（「位元」）的記憶體晶片，價格約20美元，亦即

9

每個位元約2美分。如今20美元可買到一個儲存超過10億位元的隨身碟。

現在我們想到矽谷，腦中浮現的是社群網路與軟體公司，而不是讓矽谷得名的那個物質。然而，網路、雲端、社群媒體，整個數位世界之所以存在，都是因為工程師學會掌控電子在矽晶片上流動時的最小移動。要不是處理及記憶1與0的成本在過去半個世紀大降了10億倍，所有的大型科技公司根本不可能存在。

這種不可思議的進步，有部分要歸功於傑出的科學家與榮獲諾貝爾獎的物理學家。然而，不是每項發明都能開創出成功的新創企業，也不是每家新創企業都能催生出一個轉變世界的新產業。半導體之所以能在社會上普及，是因為有企業開發出量產的新技術，是因為嚴苛的管理者不斷地壓低成本，也是因為充滿創意的創業者想出運用半導體的新方法。摩爾定律的誕生，不僅是物理學家或電子工程師的故事，也是製造專家、供應鏈專家、行銷經理的故事。

矽谷崛起與晶片供應鏈

舊金山以南的城鎮在1970年代以前還不叫矽谷，那裡成為革命的中心，是因為那個地方結合了科學專業知識、製造技術、充滿遠見的商業思維。加州有許多受過航空或無線電產業訓練的工程師，他們從史丹佛大學或加州大學柏克萊分校畢業。由於美國軍方想要鞏固其技術優勢，這兩所大學都獲得了充裕的國防資金。除了經濟結構以外，加州的文化也一樣重要。那些離開美國東岸、歐洲、亞洲去建立晶片業的人，談到他們當初決定搬到矽谷的原因時，常提到矽谷給人一種機會無限的感

覺。對世界上最聰明的工程師及最有創意的創業者來說，找不到比矽谷更令人振奮的地方了。

事實證明，晶片業一旦成形，就不可能離開矽谷。如今的半導體供應鏈需要來自許多城市與國家的元件，但幾乎每塊晶片都與矽谷有關連，或是生產過程需要用到來自加州設計與製造的機台。美國擁有龐大的科學專業人才，他們獲得政府研究資金的支援，又有能力從其他國家吸引最優秀的科學家來強化陣容。這個龐大的人才庫，為推動技術進步提供了核心知識。美國的創投業與股市為新公司提供了發展所需的創業資金，也無情地淘汰失敗的公司。與此同時，美國這個全球最大的消費市場也推動了成長，為數十年來新型晶片的研發提供了資金。

其他國家發現，光靠一己之力並無法跟上這股潮流，但他們成功地把自己緊密整合到矽谷的供應鏈中。歐洲掌握了某些關鍵半導體專業技術，尤其是在生產晶片製造的機台及設計晶片架構方面。台灣、南韓、日本等亞洲國家的政府藉由補貼企業、資助培訓項目、壓低匯率，以及對進口晶片徵收關稅等方式，設法擠入晶片業。這個策略創造出其他國家無法複製的一些能力，但這番成果是靠他們與矽谷合作達成的，這些國家仍需要持續依賴美國的機台、軟體與客戶。與此同時，美國最成功的晶片公司已經建立了遍及全球的供應鏈，降低了成本，並創造出讓摩爾定律繼續成立的專業知識。

如今拜摩爾定律所賜，半導體嵌入每台需要運算力的裝置中——在物聯網時代，這意味著幾乎每台裝置都內建半導體。即使是汽車這種有百年歷史的產品，現在通常也內建價值上千美元的晶片。全球大部分的GDP都是由依賴半導體的裝置創造出來的。對於一個75年前還不存在的產品來說，這是一種非比尋常的進步。

效率的極致，也是驚人的弱點

2020年8月，馬斯廷號往南航行時，世界才剛開始意識到我們對半導體的依賴，以及對台灣的依賴。我們每年使用的新運算力中，有

三分之一是來自台灣製造的晶片。世界上幾乎所有最先進的處理晶片，

11

都是由台積電生產。2020年，當新冠病毒席捲全球時，晶片業也受到衝擊。一些工廠暫時關閉，車用晶片的採購量大幅下滑。隨著世界各地許多地區準備在家工作，個人電腦與資料中心的晶片需求大幅飆升。接著，2021年，一連串的事件又導致上述供應鏈中斷的現象加劇：日本一間半導體工廠失火；德州發生冰風暴（那裡是美國的晶片製造中心）；馬來西亞開始新一輪的新冠疫情封城（許多晶片是在馬來西亞組裝及測試）。突然間，許多離矽谷很遠的產業都面臨嚴重的晶片短缺。從豐田（Toyota）到通用汽車（GM）等大型汽車製造商都不得不關廠數週，因為他們

12

無法取得需要的半導體。即使是製程最簡單的晶片，一旦碰到短缺，也會導致地球另一端的工廠關閉。這一切彷彿是全球化出問題的完美寫照。

過去幾十年來，美國、歐洲、日本的政治領導人從未多想過半導體。他們就像一般人一樣，以為「科技」指的是搜尋引擎或社群媒體，而不是矽晶圓。當美國總統拜登（Joe Biden）與德國總理梅克爾（Angela Merkel）在問，為什麼他們國家的汽車廠關閉時，答案就隱藏在錯綜複雜的半導體供應鏈背後。一個典型的晶片，可能是一個加州與以色列的工程師團隊，使用美國的設計軟體，根據總部位於英國、軟銀集團旗下的ARM公司的藍圖設計出來的。設計完成後，會送到台灣的工廠，那家工廠再從日本購買超純矽晶圓及特殊氣體，接著利用全球最精密的機器，把前述的設計刻在矽上。那種精密機器可以蝕刻、沉積、測量幾個原子厚度的材料層。這些機台主要是由五家公司生產，一家荷蘭公司、一家日本公司與三家加州公司。如果沒有這些公司，基本上就不可能製造出先進的晶片。之後，晶片會經過封裝與測試，通常是在東南亞進行，然後才運到中國，裝進手機或電腦。

如果半導體的生產過程中有任一步驟中斷，全球新運算力的供給就會受到威脅。在人工智慧（AI）時代，大家常說資料是新石油。然而，我們面臨的真正限制，其實不是資料的取得，而是資料的處理力。儲存

與處理資料的半導體數量是有限的，生產半導體的流程極其複雜，而且成本高的可怕。石油可以從許多國家購買，但運算力不一樣。運算力的生產，根本上是取決於連串的關鍵控制點：機台、化學物、軟體。這些通常是由少數幾家公司生產，有時甚至只有一家公司生產。經濟上，沒有任何產業是如此依賴那麼少數的公司。台灣的晶片每年提供全球37%的新運算力；兩家韓國公司生產全球

44%的記憶晶片；全球所有的極紫外光（EUV）曝光機都是由荷蘭的ASML公司製造，沒有這些機器，就不可能製造先進的晶片。相較之下，石油輸出國組織（OPEC）的產油量占全球產量的40%，那看起來就沒什麼大不了了。

這個遍及全球的公司網絡，每年生產上兆個奈米級的晶片，可說是效率的極致，但也是驚人的弱點。新冠疫情的衝擊讓我們有機會窺探，萬一地震剛好發生在這些地方，對全球經濟可能造成多大的影響。台灣位於斷層線上，1999年那條斷層線曾引發芮氏7.3級的地震。幸好，那場地震只讓晶片停產了幾天。但台灣發生更強烈的地震，只是時間早晚的問題。毀滅性的地震也可能衝擊日本與矽谷。日本是地震頻繁的國家，而日本生產的晶片占全球產量的17%。矽谷現在生產的晶片雖然很少，但生產晶片製造裝置的工廠就設在聖安德列斯斷層上。

不過，如今最危及半導體供應的巨變並不是板塊碰撞，而是強權之間的衝突。中國與美國爭奪霸主地位的同時，雙方都把焦點放在掌控運算的未來上，而可怕的是，那個未來取決於一個小島，中國認為那個小島是叛離的省份，美國則已經允諾以武力保衛它。

美、中、台晶片業之間的相互連結極其複雜，令人眼花繚亂。找不到比台積電創辦人更適合說明這點的人了。截至2020年，台積電還把美國的蘋果與中國的華為視為兩個最大的客戶。張忠謀生於中國，二戰時期在香港成長，後來在哈佛、麻省理工學院、史丹佛接受教育。他在達拉斯為德州儀器（TI）工作期間，參與建立了美國早期的晶片業。他獲得了美國

最高機密的安全許可，為美國軍方開發電子產品，並使台灣成為世界半導體製造的中心。中國與美國有一些外交政策的策略家，夢想著讓兩國的科技業不再有牽連。但是像張忠謀這樣的人建立了一個由晶片設計師、化學品供應商、機台製造商所組成的超高效率國際網絡，這個網絡是不可能輕易解體的。

當然，除非有什麼東西爆炸，那就另當別論了。中國明確表示，絕不排除武力犯台以追求統一的可能。但它不會採取兩棲攻擊那樣戲劇性的手段，而導致半導體引發的震波席捲全球經濟。即使中國軍隊展開部分封鎖，那也可能引發毀滅性的破壞。對台積電最先進的晶片製造廠發動一次導彈襲擊，就可以輕易造成成千上百億美元的損失（把手機、資料中心、汽車、電信網路、其他技術的生產延誤成本加總起來，就非同小可）。

讓全球經濟受制於世界上最危險的政治爭端之一，似乎是一個可能在歷史上留下記錄的重大錯誤。然而，先進的晶片製造集中在台灣、南韓、東亞的其他地區並非偶然。政府官員與企業高階主管一連串深思熟慮的決定，創造了如今這些遍及全球的供應鏈。亞洲龐大的廉價勞力資源，吸引了尋找低成本勞力的晶片製造商。該區的政府與企業利用海外的晶片組裝廠，來學習並最終開發出更先進的技術。美國外交政策的策略家把複雜的半導體供應鏈，視為把亞洲與美國主導的世界綁在一起的工具。資本主義對經濟效率的持續要求，促使業者不斷地削減成本，也促進企業整合。摩爾定律背後的穩定技術創新，需要更複雜的材料、機械與製程，那些東西都只能透過全球市場供應或資助。我們對運算力的龐大需求只會持續成長。

這本書引用三大洲（從台北到莫斯科）的歷史檔案研究，以及上百次採訪科學家、工程師、執行長、政府官員的資料，主張半導體定義了我們的世界，決定了國際政治的形態、世界經濟的結構與軍事力量的平衡。然而，這種最現代的裝置有一段複雜又充滿競爭的歷史。它的發展不僅是由企業與消費者塑造的，也是由雄心勃勃的政府與戰爭的迫切需要推動的。想要瞭解世界是如何變成由無數個電晶體與少數幾家不可替

代的公司所主導，我們必須從矽時代的起源開始回顧。

第一部

冷戰晶片

01

從鋼到矽

日本士兵把二戰描述為「鋼鐵颱風」[*1]。對盛田昭夫來說，二戰確實是這種感覺。他出身於富裕的清酒世家，是個[1]勤奮好學的年輕工程師。二戰期間被分配到日本海軍的工程實驗室，躲過了上前線的命運。但美國B-29超級堡壘轟炸機轟炸日本的城市時，「鋼鐵颱風」也席捲了盛田昭夫的家鄉，摧毀了大部分的東京與其他的都市中心。雪上加霜的是，美國的封鎖造成了廣泛的飢荒，迫使日本鋌而走險，採取非常手段。戰爭接近尾聲時，盛田昭夫的兄弟正在接受神風特攻隊的訓練。

在隔著東海的對岸，張忠謀的童年不時會聽到炮火隆隆與空襲警報，提醒百姓攻[2]擊即將到來。青少年時期，張忠謀為了躲避橫掃中國的日軍，先後搬到廣州、英國殖民的香港、中國的戰時首都重慶。日軍戰敗後，他搬回了上海。然而，戰爭還沒真正結束，因為共產黨的遊擊隊發動了對抗民國政府的抗爭。不久，毛澤東的勢力攻占了上海。張忠謀再次逃難，被迫二度逃往香港。

遠在世界另一端的布達佩斯，安迪．葛洛夫（Andy Grove）也經歷了[3]

那場席捲亞洲的鋼鐵颱風。二戰期間，布達佩斯多次遭到入侵，葛洛夫倖存了下來。匈牙利的極右派政府把猶太人視為二等公民，但歐洲爆發戰爭時，他的父親仍被徵召入伍，被迫與匈牙利的納粹盟友一起對抗蘇聯，並在史達林格勒戰役中失蹤。1944年，納粹入侵表面上的盟友匈牙利，派出坦克縱隊穿越布達佩斯，並宣布要把葛洛夫那樣的猶太人送往大規模的死亡集中營。幾個月後，年幼的葛洛夫再次聽到轟隆隆的炮火聲。蘇聯紅軍進入匈牙利首都、「解放」這個國家、性侵了葛洛夫的母親，並取代納粹，在匈牙利建立了殘暴的傀儡政權。

無窮無盡的坦克縱隊，一波又一波的戰機，成千上萬噸的炸彈從天而降，還有綿延不絕的船隊運輸著卡車、戰車、石油產品、火車頭、車廂、火炮、彈藥、煤炭與鋼鐵——二次大戰是一場工業消耗的衝突，那正是美國希望看到的局面，因為美國要打工業戰才能贏。隨著美國把製造實力轉化為軍力，美國戰時生產委員會（War Production Board）的經濟學家是以銅與鐵、橡膠與石油、鋁與錫來衡量戰爭的成敗。

美國製造的坦克、船隻、飛機，比軸心國加起來的產量還多，美國生產的火炮與機槍數量更是軸心國的兩倍。船隊載著工業製品，從美國的港口出發，橫渡大西洋與太平洋，向英國、蘇聯、中國與其他盟國提供關鍵物資。這場戰爭由史達林格勒的士兵與中途島的水手發動，但戰鬥力則是來自美國的凱澤造船廠（Kaiser Shipyards）及紅河工廠（River Rouge）的裝配線。

1945年，世界各地的廣播宣布戰爭終於結束了。在東京的郊外，年輕的工程師盛田昭夫身穿著全套制服，聆聽裕仁天皇的投降演說。他是獨自聆聽，而不是和其他的海軍軍官一起，以免被迫[4]切腹自殺。在隔著東海的對岸，張忠謀歡慶著戰爭的結束與日本的戰敗，不久又回歸無憂無慮的少年生活，與朋友一起打網球、看電影、[5]打橋牌。在匈牙利，葛洛夫與母親慢慢從防空洞爬了出來，然而，無論是蘇聯占領期間、還是二戰期間，他們的生活都一樣困苦。

二戰的結果是由工業產出決定的，但當時已經可以明顯看出，新技

術正在轉變軍力。大國製造了成千上萬的飛機與坦克，也設立了研究實驗室，開發火箭與雷達等新裝備。摧毀廣島與長崎的兩顆原子彈促使許多人臆測，新興的原子時代可能會取代煤炭與鋼鐵主導的時代。

1945年，張忠謀與葛洛夫仍是中小學生，年紀還太小，尚未開始認真思考技術或政治問題。然而，當時盛田昭夫已二十出頭，在戰爭結束前的幾個月一直在研發

6

追熱飛彈。那時的日本距離部署可行的導引飛彈還很遠，但那項專案讓盛田昭夫有機會一窺未來。他開始可以想像，戰爭的勝利不是靠裝配線上的鉚釘工人，而是靠能夠自動辨識目標及自行運作的武器。這個概念看似科幻小說，但盛田昭夫隱約意識到，電子運算的新發展可能使機器藉由解開加減乘除或開平方根之類的數學問題來「思考」。

當然，使用裝置來運算，並不是新概念。從智人最早學會數東西以來，人類就懂得靠扳動手指來計算。古巴比倫人發明算盤來處理大額的數字。幾百年來，人類藉由撥打算盤上的珠子來運算乘法與除法。十九世紀末與二十世紀初，政府與企業內部的大型官僚組織持續擴大，需要大量的人力來做運算——辦公室的職員用紙與筆運算，有時是使用簡單的機械計算器（mechanical calculator，可做加減乘除運算及計算基本平方根的齒輪箱）。

這些有生命、會呼吸的運算工，可以把薪資單製成表格，追蹤銷售情況，收集人口普查結果，篩選火災與乾旱資料以便為保單定價。在大蕭條期間，美國的公共事業振興署（Works Progress Administration，簡稱WPA）為了雇用失業的辦公室職員，設立了「數學表格專案」（Mathematical Tables Project）。在曼哈頓的一棟辦公大樓裡，數百位運算工坐在一排又一排的辦公桌前，把對數與指數函數

7

製成表格。那個專案出版了28卷複雜函數的結果，每一卷的標題類似「從100,000到200,009的整數倒數表」，裡面收錄了201頁的數字表。

這群有組織的運算工展現了運算的前景，但也顯示出人腦運算的局

限。即使用機械計算器來輔助，人類的工作速度還是很慢。一個人想要使用「數學表格專案」的成果，必須翻閱那28卷之中的一卷，才能找到特定對數或指數的結果。想算的東西愈多，需要翻閱的頁面就愈多。

與此同時，大家對運算的需求也不斷增加。早在二戰以前，資金就流向那些開發更強大機械計算器的專案，但戰爭加速了大家對運算力的追求。幾個國家的空軍開發了機械投彈瞄準器（mechanical bombsights）來幫飛行員擊中目標。轟炸機的機組人員以轉動旋鈕的方式，輸入風速與高度。旋鈕會移動那些調整玻璃鏡的金屬桿。這些旋鈕與操縱桿所「計算」的高度與角度比任何飛行員更精準。當飛機瞄準目標時，瞄準器就會聚焦。不過，限制還是很明顯。這種瞄準器只考慮幾個輸入，提供單一的輸出：何時發射炸彈。在完美的測試情境中，美國的瞄準器比飛行員的猜測更準確。然而，在德國上空部署時，僅20%的美國炸彈

落在離目標30米的範圍內。戰爭是由投擲的炸彈數及發射的炮彈量所決定，而不是由機械運算器上的旋鈕決定的。那些機械運算器的目的雖然是用來引導武器，但通常不準確。

更高的準確度，就需要更多的運算。後來工程師開始以電荷取代早期計算器中的機械齒輪。早期的電腦使用真空管，那是一種包裹在玻璃中的燈泡狀金屬絲。穿過真空管的電流可以開啟與關閉，執行的功能就像上下撥打算盤上的珠子一樣。開啟的真空管，編碼為1；關閉的真空管，編碼為0。使用二進位的計數系統，0與1這兩個數字就可以產生任何數字，因此理論上可以執行多種類型的運算。

此外，真空管使這些電腦可以重新設定。投彈瞄準器裡的機械齒輪只能執行單一類型的運算，因為每個旋鈕都實體連接到金屬桿與齒輪上。算盤上的珠子只能在串接珠子的桿子上來回撥動。然而，真空管之間的連接可以重新組合，讓電腦執行不同的運算。

這是運算上的一大進展——或者說，要不是飛蛾出來攪局，應該會是那樣。由於真空管像燈泡一樣發光，會吸引昆蟲，需要工程師經常

「除蟲」（debug）。此外，真空管跟燈泡一樣，經常燒壞。1945年，賓州大學為美軍製造了一台名為ENIAC的先進電腦以計算彈道。它有

10

1萬8千根真空管。一根真空管平均每兩天就會故障，導致整台機器停擺，技師不得不趕緊找出故障的真空管並換新。ENIAC可以每秒相乘數百個數字，速度比任何數學家還快。然而，一台ENIAC就占滿了整個房間，因為那1萬8千根真空管每根都像拳頭那麼粗。顯然，真空管技術實在太麻煩、太慢、太不可靠了。只要電腦一直是這種蛀蟲橫行的龐然大物，它們就只能做破譯密碼之類的小眾應用，除非科學家能找到一種更小、更快、更便宜的開關。

*1 這個詞確切是指沖繩島戰役。英文是Typhoon of Steel，日語是「鐵雨」（鉄の雨）或「鐵暴風」（鉄の暴風），反映這場戰役的密集火力及龐大的戰艦數量。

02

開關

威廉．蕭克利（William　Shockley）一直認為，如果要找到更好的「開關」，那應該是借助[1]一種叫「半導體」的東西。蕭克利生於倫敦，父親是經常在世界各地奔走的礦業工程師，他在靜謐的加州小鎮帕羅奧圖（Palo　Alto）成長，當時那裡到處都是果園。身為獨子，他始終深信自己高人一等，而且他會讓每個人都知道這點。他在南加州的加州理工學院取得學士學位，接著到麻省理工學院取得物理學博士學位，之後到紐澤西州的貝爾實驗室工作。當時，貝爾實驗室是全球最頂尖的科學與工程中心之一。所有的同事都覺得蕭克利很高傲，但他們也承認，他確實是很出色的理論物理學家。他的直覺非常精準，一位同事形容，他彷彿可以真的看到電子在金屬中穿梭或[2]把原子結合起來。

半導體是蕭克利的專業領域，那是一種獨特的材料。多數材料只能讓電流自由地流動（如銅線），或是阻止電流（如玻璃）。半導體則不同，矽與鍺之類的半導體材料本身像玻璃一樣，幾乎不導電。但是加入某些材料並導入電場後，電流就會開始流動。例如，在矽或鍺等半導體材料中加入磷或銻，就會產生負電流。

把其他的元素「摻入」半導體材料中，為新型的裝置提供了一個機會，讓它們能夠產生及控制電流。然而，只要矽或鍺等半導體材料的電子性質依然神秘難解，想掌握電子在半導體材料中的流動就是一個遙遠的夢想。1940年代後期以前，儘管貝爾實驗室累積了大量的物理智慧，仍沒有人能解釋為什麼半導體材料會以如此令人費解的方式運作。

1945年，蕭克利首次提出他所謂的[3]「固態開關」理論，他在筆記本上畫了一塊連接在90伏特電池上的矽片。他假設，把矽那樣的半導體材料放在電場中，可以吸引裡面的「自由電子」（即離域電子）聚在半導體的邊緣附近。如果電場吸引了夠多的電子，半導體的邊緣就會轉變成像金屬那樣的導電材料（金屬總是有大量的自由電子）。如此一來，電流就可以開始流經一種本來不導電的材料。蕭克利很快打造出那樣的裝置，他希望在矽片上導入及移除電場可以產生類似開關的效果：打開及關閉穿過矽片的電流。然而，當他實際做這項實驗時，卻無法偵測到結果。「完全測不到東西，」他解釋道：「很神秘。」事實上，是因為1940年代的簡單儀器太不精確了，量不到流動的微小電流。

兩年後，蕭克利在貝爾實驗室的兩位同事在一種不同類型的裝置上，設計了一個類似的實驗。蕭克利為人高傲，令人討厭，但沃特．布萊頓（Walter Brattain）與約翰．巴丁（John Bardeen）則是謙虛又隨和。布萊頓來自華盛頓鄉下的牧牛場，是一位出色的實驗物理學家。巴丁是普林斯頓大學畢業的科學家，後來成為唯一兩度榮獲諾貝爾物理學獎的人。他們受到蕭克利那套理論的啟發，打造出一個裝置，把兩根金絲放在一個鍺片上，那兩根金絲彼此的距離不到一毫米。1947年12月16日的下午，在貝爾實驗室的總部，巴丁與布萊頓打開電源，發現能夠控制鍺片上的電流，就此證明了蕭克利提出的[4]半導體材料理論。

貝爾實驗室的母公司AT&T是從事電話事業，而不是運算事業。該公司認為，這種後來迅速被命名為「電晶體」的裝置，主要用處是在其龐大的網絡中，放大傳輸電話的訊號。由於電晶體可以放大電流，大家很快就發現，電晶體很適合用於助聽器、收音機等裝置，取代不太可靠的真空管（真空管也是用來放大訊號）。貝爾實驗室很快就開始為這種新裝置安排專利申請。

蕭克利眼看同事發現了能夠證明他的理論的實驗，感到非常憤怒，

他決心超越他們。耶誕節期間，他關在芝加哥的一家旅館房間裡兩個星期，憑著他對半導體物理學的過人理解，開始想像不同的電晶體結構。1948年1月，他已經想出一種新型電晶體，由三塊半導體材料組成。外層那兩塊有多餘的電子，夾在中間那塊則缺少電子。把微小的電流導入夾在中間的那塊，就會產生更大的電流在整個裝置中流動。這種小電流變大電流的轉換過程，跟巴丁與布萊頓的電晶體所展現的放大過程一樣。但蕭克利順著之前提出的「固態開關」理論，發現了其他的用途。他可以操控導入中間那層半導體材料的小電流，藉此開啟與關閉較大的電流——如此開、關、開、關，於是蕭克利[5]自己設計出了一種開關。

1948年6月，貝爾實驗室舉行記者會，宣布其科學家發明了電晶體。當時大家不太明白，這些連線的鍺片為什麼值得開記者會。《紐約時報》把那篇報導埋在第46頁。《時代》雜誌稍好一些，以〈微小的腦細胞〉為標題，報導了這項發明。蕭克利雖然從未低估過自己的重要性，但連他也沒想到，不久人類就會使用成千上萬、數百萬、甚至數十億個這樣的電晶體來取代人腦，來[6]執行運算任務。

03

諾伊斯、基爾比，以及積體電路

電晶體要能真正取代真空管，就必須要能簡化及量產銷售。提出理論及發明電晶體只是第一步，接下來的挑戰是量產。布萊頓與巴丁對商業化或量產沒什麼興趣。他們是研究者，榮獲諾貝爾獎後仍繼續從事教職與實驗。相反的，蕭克利的雄心壯志則是有增無減。他不僅想成名，還想發財。他告訴朋友，他夢想著自己的名字不僅能登上《物理評論》（*Physical Review*）之類的學術刊物，[1]也能登上《華爾街日報》。1955年，他在加州舊金山郊區的山景城成立了蕭克利半導體公司（Shockley Semiconductor），公司離帕羅奧圖不遠，他年邁的母親仍住在帕羅奧圖。

蕭克利打算製造出全球最好的電晶體，這是有可能的，因為擁有貝爾實驗室及電晶體專利的AT&T打算以2.5萬美元的價格把那個裝置[2]授權給其他公司。以最先進的電子技術來說，那是很划算的價格。蕭克利認為電晶體會有市場，至少可以取代現有電子產品所使用的真空管。不過，電晶體市場的潛在規模看起來還不明朗。每個人都認同電晶體是一項聰明的技術，是以最先進的物理學為基礎，但除非電晶體的性能比真空管好，或能以更低的成本生產，否則電晶體難以普及。蕭克利不久就因為提出半導體的理論而得到諾貝爾獎，但是如何讓電晶體變得實用，已經不是理論物理學的問題，而是一個工程難題。

電晶體不久就開始取代電腦中的真空管，但數千個電晶體之間的佈線變成極其複雜的問題。1958年的夏季，德儀的工程師傑克．基爾比（Jack Kilby）在德州的實驗室裡努力尋找方法，想要簡化[3]電晶體系統的電路所造成的複雜性。基爾比說話溫和，個性隨和，充滿好奇心，而且相當聰明。一位同事回憶道：「他從不苛求，但你知道他

想要看到什麼成果，你就會竭盡所能去達成。」另一位同事中午常和他一起吃烤肉，說他是「我見過最好的人」。

基爾比的第一個雇主是位於密爾瓦基市（Milwaukee）的Centralab，那是第一家從AT&T獲得電晶體技術授權的實驗室，所以基爾比是第一批[4]在貝爾實驗室以外使用電晶體的人之一。1958年，基爾比離開Centralab，到德儀的電晶體部門工作。總部位於達拉斯的德儀，成立之初是生產運用震波來幫石油商決定鑽探地點的設備。二戰期間，美國海軍為了追蹤敵方潛艇，徵召德儀[5]生產聲納設備。戰後，德儀的高階主管意識到，這種電子專業也可用於其他軍事系統，所以雇用基爾比這樣的工程師來打造這些系統。

基爾比在七月德儀的年度特休期間抵達達拉斯。他才剛加入公司，沒有累積的假期，所以那兩週一個人待在實驗室。由於有很多摸索的時間，他不禁好奇，如何減少串接電晶體所需的電路數量。他沒有使用單獨的矽片或鍺片來製造每個電晶體，而是考慮在同一塊半導體材料上[6]組裝多個元件。他的同事放完暑假回來時，發現基爾比的概念極具革命性。他們可以把好幾個電晶體嵌入一塊矽片或鍺片。基爾比把這項發明稱為「積體電路」（integrated circuit），後來俗稱為「晶片」（chip），因為每個積體電路都是由一塊矽晶圓切下來（chip off）的矽晶片製成的。

大約一年前，在加州的帕羅奧圖，蕭克利半導體實驗室雇用的八名工程師告訴他們那位諾貝爾獎得主老闆，他們不幹了。蕭克利擅長發掘人才，卻是很糟糕的管理者。他特別擅長在充滿爭議的環境中運作，把辦公室搞得烏煙瘴氣，以致眾叛親離，疏遠了那些他招募進來的年輕工程師。那八名工程師離開蕭克利半導體公司後，決定一起創業。他們用東岸一位百萬富翁的種子基金，創立了[7]快捷半導體（Fairchild Semiconductor）。

一般普遍認為，這八位叛離蕭克利半導體的工程師是矽谷的開創者。八人之一的尤金．克萊納（Eugene　Kleiner）後來創立了全球最強大的創投公司之一凱鵬華盈（Kleiner　Perkins）。高登．摩爾（Gordon　Moore）負責快捷半導體的研發流程；後來他提出的摩爾定律，描述了運算力的指數型成長。這八人之中最重要的是羅伯特．諾伊斯（Robert　Noyce），他是俗稱「八叛逆」（traitorous　eight）的領導者，對微電子學充滿了遠見與熱情。他憑直覺就知道，電晶體需要哪些技術進步才能縮小尺寸，使它變得便宜又可靠。把新發明與商機結合起來，正是快捷半導體這種新創企業蓬勃發展所需要的，也是晶片業開始崛起所需要的。

快捷半導體成立時，電晶體的科學已經相當清晰，但可靠地製造電晶體仍是極大的挑戰。第一批商業化的電晶體是由一塊鍺製成的，上面覆蓋著不同層的材料，形狀像亞利桑那州沙漠裡的台地。這些層層堆疊的材料是這樣製造的：先在一部分的鍺片上塗一滴黑蠟，然後用一種化學物質把沒塗上蠟的鍺蝕刻掉，接著再去掉蠟，藉此在鍺片上形成台地的形狀。

這種台面結構的一個缺點是，灰塵或其他顆粒等雜質可能滯留在電晶體上，與電晶體表面的物質產生反應。諾伊斯的同事尚．霍爾尼（Jean　Hoerni）是瑞士的物理學家，也是狂熱的登山愛好者。他發現，如果整個電晶體都可以嵌入到鍺片中，而不是放在鍺上，那就沒必要做出這種台面結構（mesa）了。他設計了一種製造電晶體所有部件的方法，作法是在矽片上沉積一層保護性的二氧化矽，然後在需要的地方蝕刻孔洞，再沉積額外的材料。這種沉積保護層的方法，避免材料暴露在空氣及接觸到雜質而造成缺陷，使可靠性大幅提升。

幾個月後，諾伊斯意識到，霍爾尼的「平面法」（planar）可以在同一矽片上製造多個電晶體。當時，諾伊斯

並不曉得基爾比的存在。基爾比是在鍺片上製造一個台面式電晶體（mesa　transistor），然後用電路把它連接起來。諾伊斯則是使用霍爾

尼的平面流程，在同一半導體上製造多個電晶體。由於平面流程在電晶體上覆蓋了一層二氧化矽絕緣層，諾伊斯可以在晶片上沉積金屬線，藉此直接把「電路」放在晶片上，讓晶片的電晶體之間可以導電。諾伊斯跟基爾比一樣，製造了一種積體電路：在一片半導體材料上放了多個電子元件。不過，諾伊斯的版本沒有獨立的電路，這些電晶體是嵌入單一的半導體材料。不久，基爾比與諾伊斯開發的「積體電路」被稱為「半導體」，或簡稱為「晶片」。

諾伊斯、摩爾，以及快捷半導體的同事知道，他們的積體電路比其他電子設備所依賴的複雜電路可靠多了。縮小快捷半導體的「平面」設計，似乎比縮小一般常見的台面式電晶體容易多了。與此同時，較小的電路也比較省電。諾伊斯與摩爾開始意識到，縮小與省電是一個強大的組合：更小的電晶體及更低的功率消耗，可以為他們的積體電路創造新的用途。但起初，相較於把獨立元件連接在一起的較簡單裝置，諾伊斯那種積體電路的[9]製造成本是50倍。每個人都認為諾伊斯的發明比較好，甚至技高一籌，它唯一需要的是一個市場。

04

登月

諾伊斯與摩爾創立快捷半導體三天後的晚上8點55分，關於「誰可能購買積體電路」這個問題的答案，正從他們的頭頂上飛過加州的夜空。蘇聯發射了世界上第一顆人造衛星史普尼克（Sputnik），以18,000英里的時速從西向東環繞著地球運行。《舊金山紀事報》（*San Francisco Chronicle*）的標題寫著[1]「蘇聯的『月亮』繞著地球轉」，標題反映出美國人很擔心這顆衛星將為蘇聯帶來策略優勢。四年後，蘇聯繼史普尼克之後，再次震驚世界：太空人尤里．加加林（Yuri Gagarin）成為第一個進入太空的人類。

蘇聯的太空計畫在全美引發了一場[2]信任危機。掌控宇宙這件事，將會產生嚴重的軍事後果。美國一直以為自己是世上首屈一指的科學強國，但現在似乎已經落後。於是，美方為了追趕蘇聯的火箭與導彈計畫，啟動了一項應急方案。甘迺迪總統也宣布，美國將把人類送上月球。突然間，諾伊斯的積體電路找到了一個市場：火箭。

諾伊斯晶片的第一個大訂單是來自美國太空總署（NASA）。1960年代的太空總署為了把太空人送上月球，擁有龐大的登月預算。隨著美國決心登月，太空總署委任麻省理工學院（MIT）儀控實驗室（Instrumentation Lab）的工程師，為阿波羅太空船設計導引電腦（guidance computer），那台裝置肯定是有史以來最複雜的電腦之一。所有人都認同，電晶體電腦遠比二戰期間破解密碼及計算火炮軌跡的真空管電腦更好。但這些裝置真的能引導太空船登陸月球嗎？麻省理工學院的一名工程師計算，為了滿足阿波羅任務的需求，一台電腦需要像冰箱那麼大，而且耗電量比整個阿波羅太空船[3]

預計產生的電力還多。

1959年，在基爾比發明積體電路僅一年後，麻省理工儀控實驗室收到了第一片由德儀生產的積體電路。儀控實驗室以1000美元的價格，買了64片這樣的晶片來測試，作為美國海軍導彈計畫的一部分。麻省理工的團隊最後並沒有在導彈中使用晶片，但他們覺得積體電路的概念很有意思。約莫同一時間，快捷半導體開始行銷其製造的Micrologic晶片。1962年1月，麻省理工學院的某工程師告訴同事：「你去大量採購那玩意兒，[4]看那東西是不是真的。」

快捷半導體是一家全新的公司，由一群沒什麼經驗的30歲工程師經營，但他們的晶片很可靠，而且交貨準時。1962年11月，負責麻省理工儀控實驗室的知名工程師查爾斯．斯塔克．德拉普爾（Charles Stark Draper）決定把阿波羅計畫的命運押在快捷半導體的晶片上。根據他的計算，一台電腦使用諾伊斯的積體電路，體積與重量都比使用離散電晶體的電腦少三分之一，[5]耗電量也比較少。最終，把阿波羅11號送上月球的電腦，重31公斤，占用約1立方英尺的空間，比賓州大學那台在二戰期間計算火炮軌跡的ENIAC電腦小了1000倍。

麻省理工學院認為阿波羅導引電腦是其最自豪的成就之一，但諾伊斯知道他的晶片才是讓阿波羅電腦運轉的關鍵。1964年，諾伊斯吹噓道，阿波羅電腦的積體電路已運行1900萬個小時，其間僅故障兩次，其中一次故障是移動電腦所造成的外力損壞。賣晶片給阿波羅計畫，使快捷半導體從一家小型新創轉變為一家有上千名員工的公司。銷售額從1958年的50萬美元，飆升至兩年後的[6]2100萬美元。

隨著諾伊斯為太空總署增加產量，他也得以大幅削減賣給其他客戶

的價格。1961年12月，一個積體電路的售價是120美元，翌年10月的價格

7

已降至15美元。「太空總署相信積體電路可引導太空人登月」，這對公司來說是極重要的口碑。快捷半導體的Micrologic晶片不再是沒經過檢驗過的技術，而是用在最嚴酷、最惡劣的環境中：外太空。

這對基爾比與德儀來說是個好消息，儘管他們的晶片在阿波羅計畫中只扮演很小的角色。在德儀的達拉斯總部，基爾比與德儀的總裁派特．海格底（Pat　Haggerty）正在為他們的積體電路尋找一個大客戶。海格底的父親是南達科他州一個小鎮的鐵路電信技師，受過電機工程師的訓練，二戰期間為美國海軍從事電子方面的工作。海格底自1951年加入德儀以來，就一直負責

8

向軍方銷售電子系統。

海格底憑直覺就明白，基爾比的積體電路最終可放入美國軍方所使用的

9

每件電子產品中。海格底是有魅力的演說家，他向德儀的員工講述電子產品的未來時，一位資深員工記得他「就像救世主站在山頂上佈道一樣，

10

彷彿能預測一切」。1960年代初期，隨著美國與蘇聯在爭奪分裂的柏林，以及古巴導彈危機期間，兩方都在核武問題上陷入僵局，美國國防部可說是海格底最好的客戶。就在基爾比發明積體電路幾個月後，海格底向國防部的人員介紹基爾比的發明。翌年，空軍航電設備實驗室（Air Force Avionics Lab）同意贊助德儀的晶片研究。隨後，德儀又接到幾份軍事設備的小合約。不過，海格底真正的目標是一舉吃下大訂單。

1962年的秋季，空軍開始尋找一台新電腦來引導

11

義勇兵二型導彈（Minuteman II missile）。這種導彈的設計目的，是在打擊蘇聯以前，先把核彈頭發射到太空。當時，義勇兵一型導彈才剛服役，但因為太笨重了，從散布在美西各地的發射台根本打不到莫斯科。

彈上的導引電腦是個龐然大物，採用離散電晶體，瞄準程式是透過帶孔的電子絕緣膠帶（Mylar tape）[12]輸入導引電腦。

海格底向空軍承諾，使用基爾比積體電路的電腦，可用一半的重量執行兩倍的運算。他想像一台使用22種不同類型積體電路的電腦。他認為電腦95%的功能將由刻入矽的積體電路完成，這些積體電路的重達總計是2.2盎司（約62克）。剩下5%的電腦硬體重量是36磅（約16克），德儀工程師目前還不知道如何把剩下的部分放到晶片上。設計這台電腦的工程師鮑勃．尼斯（Bob Nease）談到決定使用積體電路時解釋：「這只是一個尺寸與重量的問題，[13]當時真的選擇不多。」

獲得義勇兵二型導彈的合約，一舉改變了德儀的晶片業務。德儀的積體電路以前的訂單是以幾十個為單位，但由於大家擔心美蘇之間的「導彈落差」，不久德儀的訂單變成以數千個為單位。一年內，德儀對空軍的出貨量占了目前為止購買晶片總支出的60%。到了1964年底，德儀已經為義勇兵導彈計畫提供了10萬個積體電路。到了1965年，當年出售的所有積體電路中，有20%流向[14]義勇兵導彈計畫。海格底把出售晶片的重心押在軍方的賭注獲得了回報。唯一的問題是，德儀能不能學會量產晶片。

05

迫擊炮與量產

1958年9月1日，就在基爾比在實驗室裡摸索的那個關鍵的夏天將盡，傑伊．萊斯羅普（Jay Lathrop）把車開進停車場，[1]正式到德州儀器上班。萊斯羅普和諾伊斯是麻省理工的同學，他從麻省理工畢業後，曾到一個隸屬美國政府的實驗室工作，設計一種近距引信（proximity fuse），讓81毫米的迫擊炮彈在目標的上方自動引爆。他原本也像快捷半導體的工程師一樣，為台面式電晶體苦惱，因為那種電晶體很難縮小。現有的製程需要在半導體材料的某些部分上放置特殊形狀的蠟球，然後使用特殊的化學物質清洗未覆蓋的部分。製造更小的電晶體需要更小的蠟球，但是要維持這些蠟球的正確形狀實在是困難重重。

用顯微鏡觀察電晶體時，萊斯羅普和擔任其助手的化學家詹姆斯．納爾（James Nall）有了一個想法：顯微鏡的鏡頭可以放大東西。如果他們把顯微鏡顛倒過來，鏡頭就可以縮小東西。他們能不能用鏡頭把一個大圖「印」到鍺上，藉此在鍺片上製作微型台面呢？相機公司柯達（Kodak）有賣一種叫做「光阻劑」（photoresists）的化學物質，這種物質在光照下會發生反應。

萊斯羅普在一塊鍺片上塗了柯達的一種光阻劑，那種化學物質在光照下會消失。接著，他把顯微鏡顛倒過來，在鏡頭上蓋上一個圖案，讓光只能穿過一個矩形區域。光線照過圖案，透過鏡頭照出一個矩形。當光線聚焦到塗了光阻劑的鍺片時，顛倒的顯微鏡縮小了尺寸，讓光線創造出一個形狀完美的微小矩形圖案。光線照射到光阻劑時，化學結構發生變化，使光阻劑消失，留下一個微小的矩形洞，遠比任何蠟球還小，而且形狀更精確。不久，萊斯羅普發現，他也可以添加一層超薄的鋁層來連接鍺片與外部電源，藉此印出「電路」。

萊斯羅普把這個流程稱為微影成像（photolithography），亦即光投影印刷技術。他製造的電晶體遠比之前的小，直徑僅0.1吋，高度僅0.0005吋。微影成像技術使量產微型電晶體變得有可能。萊斯羅普於1957年為這項技術申請了專利。後來在軍樂隊的伴奏下，軍方為他的研究頒給他一枚獎章與25000美元獎金，他用那筆錢為家人買了一輛Nash Rambler旅行車。

海格底與基爾比立刻意識到，萊斯羅普的微影成像製程遠比軍方給他的25000美元獎金的價值更高。義勇兵二號導彈計畫需要成千上萬個積體電路，阿波羅太空船需要的更多。海格底與基爾比知道，光線與光阻劑可以解決量產問題，以手工焊接電線所辦不到的方式把晶片製造加以機械化及微型化。

不過，在德儀落實萊斯羅普的微影成像技術，需要新的材料與新的製程。柯達光阻劑的純度不足以量產，因此德儀自己買了離心機，對柯達提供的化學物質再加工。萊斯羅普為了尋找「光罩」，搭火車跑遍了全美各地。這種光罩是用來把光影精確地投射在覆蓋著光阻劑的半導體材料上，以蝕刻電路。但跑遍全美各地後，他的結論是現有的光罩都不夠精準，所以德儀也決定自己生產光罩。基爾比的積體電路所需要的是超純矽，遠比任何公司銷售的還純。因此，德儀也開始生產自己的矽晶圓。

一切都標準化以後，就可以量產了。通用汽車可以把完全相同的汽車零組件，裝配到所有的雪佛蘭汽車中。但是半導體不一樣，德州儀器這些公司並沒有工具可以判斷積體電路的所有元件的品質與狀態是否都一樣。化學物質裡有當時還無法檢測出來的雜質。溫度與壓力的變化會引發意想不到的化學反應。灰塵顆粒可能污染投射光線的光罩，一個雜質就可能毀掉整個製程。唯一的改進方法是反覆地試誤，所以德儀安排了數千次實驗，評估不同的溫度、化學組合、製程的影響。基爾比每週六都在德儀的走廊上走來走去

檢查工程師的實驗。

德儀的生產工程師瑪麗．安．波特（Mary Anne Potter）花了幾個月的時間做[3]全天候的測試。波特是第一位從德州理工大學獲得物理學學位的女性，德儀雇用她來擴大義勇兵導彈的晶片生產。為了確保實驗按計畫進行，她經常上夜班，從晚上11點工作到早上8點。收集資料需要先花好幾天做實驗。接著，波特要對資料進行回歸分析，用計算尺來計算指數與平方根，然後把結果畫在圖表上再加以解讀——這一切都是手工完成。這是一個緩慢、費力又痛苦的過程，完全靠人腦來處理數字。然而，當時德儀除了試誤法，別無他法。

張忠謀與萊思羅普在同年（1958年）[4]加入德州儀器，他負責一條電晶體的生產線。此時距離他當年為了躲避不斷進擊的共軍而逃離上海，已過了近十年。他從上海逃到香港，接著遠走波士頓，錄取哈佛大學，成為哈佛大一新生中唯一的中國學生。他在哈佛讀了一年莎士比亞之後，開始擔心自己的職業前景。他回憶道：「那時華裔美國人開洗衣店，開餐館。1950年代初期，華裔美國人唯一可以認真寄望的中產階級職業，是走技術路線。」張忠謀認為，機械工程似乎比英國文學更穩當，便轉學到麻省理工學院就讀。

畢業後，張忠謀先到大型電子公司喜萬年（Sylvania）任職，喜萬年在波士頓的郊外設有工廠，張忠謀負責提高喜萬年的製造「良率」（亦即電晶體可實際運作的比例）。張忠謀白天改善喜萬年的製程，晚上研讀蕭克利的《半導體中的電子與電洞》（*Electrons and Holes in Semiconductors*），那本書是早期半導體電子學的聖經。在喜萬年三年後，張忠謀被德儀錄取，搬到德州達拉斯——他記得那裡是「牛仔之鄉」，是「一塊牛排95美分」的地方。他在德儀負責經營專為IBM電腦生產的一條電晶體生產線。他回憶道，那種電晶體很不穩，德儀的良率接近於零。幾乎所有產出的電晶體都有製造缺陷，導致電路短路或故障，[5]

而必須報廢。

張忠謀是橋牌高手，他處理製程就像玩他最愛的紙牌遊戲一樣有條不紊。一加入德儀，他就開始系統化地調整不同化學物質結合時的溫度與壓力，判斷哪種組合的效果最好。他憑直覺處理資料的方式，令同事嘆服又敬畏。一位同事回憶道：「與他共事要很謹慎，他坐在那兒抽著菸斗，隔著煙霧盯著你。」為他工作的德州人認為他「像佛陀一樣」。煙霧的背後，是一顆無人能及的大腦。一位同事回憶道：「他對固態物理學瞭若指掌，足以凌駕任何人。」他也是出了名的嚴格上司，一位下屬回憶道：「張忠謀很會訓人，如果你沒有被他痛罵過，[6]那不算待過德儀。」儘管如此，張忠謀的做法確實看到了成效。幾個月內，那條電晶體生產線的[7]良率大幅提升到25%。美國最大科技公司IBM的高階主管還[8]到達拉斯學習他的方法。不久，張忠謀就掌管了德儀的整個積體電路事業。

諾伊斯與摩爾跟張忠謀的想法一樣，他們都認為只要能做到量產，晶片業的成長就沒有極限。諾伊斯與萊斯羅普是麻省理工學院的同學，兩人讀研究所時曾一起去爬新罕布夏州的山。諾伊斯得知萊斯羅普發明了一種可改變電晶體製造的技術，馬上聘請萊思羅普的實驗室夥伴納爾來快捷半導體開發微影成像。諾伊斯認為：「做不到這件事，[9]公司就不用開了。」

改進快捷半導體的製程，有賴像葛洛夫那樣的生產工程師。1956年，葛洛夫逃離匈牙利的共產政權，以難民的身份抵達紐約之後，靠自己努力進入柏克萊攻讀博士學位。1962年，他寫信到快捷半導體求職，但被告知以後再試，那封拒絕信寫道：「我們希望年輕人去其他公司應徵後，再來找我們面試。」葛洛夫回憶道，快捷半導體的拒絕信給人「高傲臭屁」的感覺，這也是後來矽谷給人的形象——狂妄傲慢。但隨著外界對快捷的半導體需求增加，快捷突然亟需化學工程師。快捷的主

管打電話到柏克萊，請校方提供化學系最優秀的學生名單。葛洛夫在那份名單上名列前茅，因此被叫去帕羅奧圖與摩爾會面。葛洛夫回憶道：「[10]我們倆一拍即合。」他於1963年加入快捷，餘生致力與諾伊斯及摩爾一起打造晶片業。

發明電晶體的諾貝爾獎頒給了蕭克利、巴丁與布萊頓。基爾比後來因發明第一個積體電路而獲得諾貝爾獎。如果諾伊斯不是在62歲過世，他理當可以和基爾比分享那個獎項。這些發明非常重要，但是光靠科學還不足以建立晶片業。半導體的發展不僅要靠學術物理學，也要靠精巧的製造技術。麻省理工學院與史丹佛等大學在發展半導體知識方面扮演關鍵要角，但晶片業之所以能夠崛起，是因為這些院校的畢業生花了數年的功夫去調整製程，做到量產。把貝爾實驗室的一項專利變成一個改變世界的產業，靠的不只是科學理論，也有賴工程學與直覺。

一般普遍認為，蕭克利是他的世代中最卓越的理論物理學家之一。他最終放棄了追求財富及登上《華爾街日報》的夢想，在奠定電晶體的理論方面，貢獻卓著。但是真正把蕭克利的電晶體變成實用的產品（晶片），並將它賣給美國軍方，同時學習如何量產的，則是那八名拋棄蕭克利公司的叛逆工程師，以及德州儀器的另一群人。1960年代中期，掌握這些能力的快捷半導體與德儀，面臨著一項新的挑戰：如何把晶片轉變成大眾市場的產品。

06

「我—要—去—賺—大—錢」

引導阿波羅太空船與義勇兵二號導彈的電腦，讓美國的積體電路產業就此起飛。到了1960年代中期，美國軍方在各種類型的武器中都嵌入晶片——從衛星到聲納、[1]從魚雷到遙測系統，都有晶片的蹤跡。諾伊斯知道，軍事與太空專案對快捷半導體的早期成功非常重要。他在1965年時坦言，軍事與太空應用將會使用「今年生產的[2]95%以上的積體電路」。但他心中一直認為晶片有一個更大的民用市場，儘管1960年代初期那種市場還不存在。他必須靠自己開創那個市場，這也表示他必須與軍方保持距離，好讓他能自己決定快捷半導體的優先要務，而不是聽命於國防部。諾伊斯拒絕了大多數的軍事研究合約，他估計，快捷半導體的研發預算中仰賴國防部的部分從未超過4%。諾伊斯自信地解釋：「世界上很少研究主管能夠勝任評估快捷半導體的工作，而且[3]他們通常也不是職業軍官。」

諾伊斯剛從研究所畢業時，在東岸的無線電製造商飛歌公司（Philco）工作。飛歌內部有一個很大的國防部門，他在那裡體驗過政府主導的研發。諾伊斯回憶道：「研究的方向是由能力較差的人決定。」他抱怨自己浪費時間為軍方撰寫進度報告。現在他經營著由信託基金的繼承人出資成立的快捷半導體，可以把軍方視為客戶，而不是老闆。所以他決定把快捷的研發大部分鎖定在大眾產品上，而不是軍事領域。他推斷，用於火箭或衛星的多數晶片，一定也有民用的用途。第一個為商業市場生產的積體電路是用於[4]Zenith的助聽器，那最早是為太空總署的衛星設計的。挑戰在於如何製

造出一般民眾買得起的晶片。軍方付得起高價，但消費者對價格很敏感。不過，最誘人的是，即使冷戰時期國防部的預算相當龐大，民用市場的規模仍遠遠超過了那時期的國防預算。「向政府推銷研發，就像把你的創投資金（或譯風險投資）存入儲蓄帳戶一樣。創投是冒險投資，[5]要冒險才算投資。」

在帕羅奧圖，快捷半導體的周遭都是為國防部供貨的公司，從航太到彈藥，從無線電到雷達，應有盡有。國防部雖然從快捷購買晶片，但他們比較願意與大型的官僚機構合作，而不是與靈活的新創企業合作。因此，國防部低估了快捷與其他半導體新創企業改變電子業的速度。1950年代末期，國防部的一份評估報告盛讚無線電巨擘RCA公司「正在進行一項最雄心勃勃的微型化專案」；同時輕蔑地指出，快捷半導體只有兩名科學家負責該公司的頂尖電路專案。國防部的報告也指出，國防承包商洛克希德馬丁公司（Lockheed Martin）在帕羅奧圖有一個研究設施，光是微系統電子部門就有超過50位科學家，意指[6]洛克希德馬丁公司遙遙領先。

不過，快捷半導體的研發團隊在摩爾的指導下，不僅開發出新的技術，也開創了新的民用市場。1965年，《電子》（*Electronics*）雜誌邀請摩爾寫一篇有關積體電路未來的短文。他預測，至少在未來十年，快捷每年都會讓矽晶片上可容納的元件數增加一倍。照這種速度發展下去，到了1975年，積體電路內將會有6.5萬個微小的電晶體，不僅會創造出更強大的運算力，也降低了每個電晶體的價格。隨著成本的下降，用戶數將會增加。這種運算力呈指數級成長的預測，不久被稱為[7]摩爾定律，可說是二十世紀最偉大的技術預言。

摩爾意識到，如果每個晶片上的運算力持續呈指數級成長，積體電路為社會帶來的變革將遠遠超過火箭與雷達。1965年，國防資金仍然購買了當年72%的積體電路總產量。然而，軍方要求的功能，也適合商業應用。一份電子出版品主張：「微型化與堅固性，[8]

就是好生意。」國防承包商認為，晶片的主要作用是取代所有軍事系統中的老式電子元件。然而，在快捷半導體，諾伊斯與摩爾已經在夢想個人電腦與手機了。

1960年代初期，國防部長勞勃．麥納馬拉（Robert McNamara）為了削減成本而改革軍事採購，引發了電子業有些人所說的「麥納馬拉蕭條」（McNamara Depression）。這時，反觀快捷半導體對民用晶片的願景，彷彿充滿了先見之明。快捷是第一家為民用客戶供應全系列現成積體電路的公司。此外，諾伊斯也大幅降低了價格，他預期大降價將大幅擴展晶片的民用市場。1960年代中期，快捷晶片的售價從以前的20美元降至2美元。有時，快捷甚至以低於生產成本的價格出售產品，希望說服

9

更多的客戶來試用晶片。

快捷因大幅降價，開始獲得民營企業的大合約。美國的電腦年銷量從1957年的1000台，成長到10年後的18700台。到了1960年代中期，幾乎所有的電腦都依賴積體電路。1966年，電腦公司Burroughs向快捷訂購了2000萬個晶片，是阿波羅計畫採用晶片量的二十幾倍。到了1968年，電腦業購買的晶片數已經跟軍方一樣多了。快捷晶片在電腦市場上的

10

市占率是80%。諾伊斯的降價策略為民用電腦打開了新市場，將在未來數十年持續推動晶片的銷售。摩爾後來主張，諾伊斯的降價策略，跟快捷生產積體電路的技術是

11

一樣重大的創新。

到了1960年代末期，經過十年的發展，阿波羅11號終於準備好使用快捷驅動的導引電腦，把第一個人類送上月球。加州聖塔克拉拉谷（Santa Clara Valley）的半導體工程師從太空競賽中獲益匪淺，因為太空競賽為他們提供了一個重要的早期客戶。然而，人類第一次登月時，矽谷工程師對國防與太空合約的依賴程度已經大幅降低。這時他們的注意力集中在民間，晶片市場正蓬勃發展。快捷半導體的成功已經促使幾

位高階主管跳槽到製造晶片的競爭對手。創投資金正湧入那些專注於企業電腦、而非火箭的新創企業。

然而，快捷仍由東岸的一位千萬富翁所擁有，他付給員工的薪水不錯，但拒絕發放股票選擇權，他認為發股票的概念是一種[12]「悄然施行的社會主義」。最終，連快捷的共同創辦人諾伊斯也開始懷疑自己在快捷還有沒有前途。不久，每個人都開始找機會離開，原因顯而易見。除了新的科學發明與新的製程，這種賺大錢的能力可說是推動摩爾定律的根本動力。誠如一位快捷員工在離職問卷上填寫的離職理由：[13]「我——要——去——賺——大——錢。」

▲ 1957年，諾伊斯（中）與一群人共創快捷半導體公司，目標是製造矽電晶體。圖中還有諾伊斯的長期夥伴摩爾（最左）與克萊納（左三）。克萊納創立了美國最強大的創投公司凱鵬華盈。（Wayne Miller/Magnum Photos）

▲ 現今的電腦與智慧型手機採用內有數十億個微型電晶體的晶片，那些電晶體是微小的電子開關，可以藉由打開與關閉來代表資訊。因此，它們遠比美軍的ENIAC電腦還要強大。ENIAC在1945年是最先進的裝置，但只包含18,000個「開關」。（Getty Images）

▲ 1958年，德儀的基爾比在一塊半導體材料上放了多個電子元件，打造出第一個「積體電路」，或稱「晶片」。（Dallas Morning News）

▲ 諾伊斯意識到，推動晶片需求的是民用電腦市場，而不是軍用電腦市場。他積極地降價，好讓晶片內建在民用電腦中，因此推動了產業的成長。（Ted Streshinsky/Getty Images）

第二部

美國世界的電路

07

蘇聯矽谷

快捷半導體的諾伊斯發明積體電路幾個月後，一位不速之客[1]來到了帕羅奧圖。1959年的秋季，在史普尼克人造衛星首次繞地球飛行兩年後，來自蘇聯的半導體工程師阿納托利．楚魯特科（Anatoly Trutko）搬進了史丹佛大學的宿舍克羅瑟斯紀念館（Crothers Memorial Hall）。雖然正值冷戰競爭接近顛峰，但美蘇兩大強權同意開始學生交流，楚魯特科是蘇聯挑選並經過美國國務院審查通過的少數幾名交換學生之一。他在史丹佛大學就讀時，與美國的頂尖科學家一起學習美國最先進的技術。他甚至去上了蕭克利的課，這時蕭克利已放棄自己的新創企業，在史丹佛大學擔任教授。楚魯特科請這位諾貝爾獎得主在其代表作《半導體中的電子與電洞》上簽名。蕭克利簽下「致阿納托利」後，隨即對這位年輕的科學家大發牢騷，說蘇聯拒絕為那本教科書的俄文版支付版稅。

美國很擔心蘇聯在科學與技術方面趕上自己，所以會讓楚魯特科這樣的蘇聯科學家來史丹佛大學研究半導體，實在令人驚訝的決定。不過在這段時期，每個國家的電子業都日益朝著矽谷發展。矽谷完全主宰了創新的標準與步調，其他的國家別無選擇，只能跟進仿效，連美國的敵手也不例外。蘇聯沒有支付蕭克利版稅，但他們瞭解半導體的重要性，在該教科書出版僅兩年後就把它譯成俄文。早在1956年，美國的間諜就奉命購買蘇聯的半導體裝置來測試其品質並追蹤其進展。1959年，美國中央情報局（CIA）的報告發現，美國生產的電晶體在質與量上只比蘇聯

領先二到四年。至少有幾名早期的蘇聯交換學生是蘇聯國家安全委員會（KGB）的特務（當時只有被懷疑，直到幾十年後才證實），他們透過學生交流來達成蘇聯的國防工業目標。

就像美國國防部一樣，蘇聯也意識到電晶體與積體電路將改變製造、運算與軍力。從1950年代末期開始，蘇聯就在全國各地建立新的半導體設施，並指派最聰明的科學家來打造這個新產業。對尤里．奧索金（Yuri Osokin）這種充滿雄心壯志的年輕工程師來說，很難想像比這個

更令人振奮的任務了。奧索金的童年大多在中國度過，他的父親在大連市的一家蘇聯軍事醫院裡任職。從小，奧索金對地理與名人生日之類的資訊就有超強的記憶力，因此脫穎而出。完成學業後，他獲選進入莫斯科一所頂尖的學術研究機構，專攻半導體。

奧索金很快就被分配到里加（Riga）的一家半導體廠，那裡的員工都是來自蘇聯頂尖大學的應屆畢業生，受命為蘇聯的太空計畫與軍方製造半導體設備。廠長賦予奧索金的任務，是在鍺片上製造出積體電路，當時蘇聯還沒有人做過這種東西。1962年，奧索金做出積體電路的原型。他和同事都知道，他們走在蘇聯科學界的尖端。他們白天在實驗室裡調整設計，晚上辯論固態物理學的理論。奧索金偶爾會拿出吉他，為同事伴唱。他們都很年輕，投入令人興奮的工作，蘇聯的科學正在崛起，蘇聯的幾顆人造衛星在空中繞行。每次奧索金放下吉他，抬頭仰望夜空時，肉眼就可以看到那些

人造衛星的蹤影。

蘇聯領導人赫魯雪夫（Nikita Khrushchev）致力追求在各個領域擊敗美國，從玉米產量到發射衛星，無一領域不競爭。比起待在電子實驗室，赫魯雪夫本人在集體農場自在的多，他對技術一無所知，但是對於「追趕並超越」美國這個概念極為執迷，就像他一再承諾的那樣。蘇聯無線電電子國家委員會的第一副主席亞歷山大．蕭金（Alexander Shokin）看準了赫魯雪夫與美國競爭的衝動。他認為可以利用那股衝動

來爭取更多的微電子投資。蕭金有一天對赫魯雪夫說：「想像一下，[5]電視可以做成菸盒大小。」這就是蘇聯矽產業的前景。「趕上並超越」美國似乎是切實可行的。而且，就像蘇聯已在核武領域趕上美國一樣，蘇聯有一個秘密武器：間諜圈。

喬爾．巴爾（Joel Barr）的父母是[6]俄羅斯的猶太人，他們為了逃離沙皇的壓迫而移民到美國。巴爾從小在布魯克林長大，家裡並不富裕。他後來進入紐約市立學院（City College of New York）攻讀電機。學生時期，他結識了一群共產黨人士，也認同他們對資本主義的批評。那些共產黨人士主張，蘇聯是對抗納粹的最佳人選，巴爾也很贊同那樣的說法。在共產黨的介紹下，他認識了同為電機工程師的共青團（Young Communist League）成員亞佛列德．沙蘭特（Alfred Sarant）。他們後來畢生都一起努力推動共產主義的理念。

1930年代，巴爾與沙蘭特被納入由知名冷戰間諜朱利葉斯．羅森堡（Julius Rosenberg）領導的間諜圈中。1940年代，巴爾與沙蘭特分別在美國兩家頂尖的科技公司西部電氣（Western Electric）與史派里陀螺儀（Sperry Gyroscope）從事機密雷達與其他軍事系統的研究。兩人並沒有像羅森堡間諜圈的其他人一樣掌握核武機密，但是他們對新武器系統中的電子設備瞭若指掌。1940年代末期，美國聯邦調查局開始瓦解蘇聯在美國的間諜網時，羅森堡夫婦一起受審並遭判處電刑。巴爾與沙蘭特在被抓到以前就已經逃離美國，最終抵達蘇聯。

他們抵達蘇聯後，告訴KGB的主管，他們想打造世界上最先進的電腦。兩人其實不是電腦專家，但蘇聯也沒有人是電腦專家。他們的間諜身分本身就是令人推崇的資格證書，間諜的光環讓他們順利獲得資源。1950年代末期，巴爾與沙蘭特開始製造第一台電腦，名為UM，在俄語中是「頭腦」的意思。他們的研究引起了蕭金的注意，蕭金是負責管理蘇聯電子業的官員。他們與蕭金共同說服赫魯雪夫相信，蘇聯需要一個專門生產半導體的城市，裡面有自己的研究人員、工程師、實驗室與生

產設施。早在舊金山南方半島上的城鎮被稱為矽谷以前（矽谷一詞是1971年才創造出來的），巴爾與沙蘭特就已經在莫斯科的郊區[7]想出了他們的版本。

為了說服赫魯雪夫資助這座新的科學城，蕭金安排赫魯雪夫造訪列寧格勒的第二電子業特別設計局。在這個拗口又官僚的名字背後（蘇聯人向來不擅長行銷），是一家走在蘇聯電子科技尖端的研究院。設計局花了幾週的時間，為赫魯雪夫的來訪做準備。前一天還彩排了一次，確保一切按計畫進行。1962年5月4日，[8]赫魯雪夫抵達當地。為了歡迎這位蘇聯領導人，沙蘭特穿了一套深色西裝，與他濃密的眉毛及精心修剪的鬍子很相配。巴爾緊張地站在沙蘭特身邊，金屬框的眼鏡掛在微禿的頭上。在沙蘭特的帶領下，這兩名前間諜向赫魯雪夫展示蘇聯微電子技術的成就。赫魯雪夫測試了一個可放入耳朵的微型收音機，也玩了一下可以印出他的名字的簡單電腦。沙蘭特自信地告訴赫魯雪夫，半導體裝置很快就會運用在太空船、工業、政府、飛機上，甚至「用來製造核導彈防禦系統」。接著，他與巴爾把赫魯雪夫帶到一個畫架前，畫架上放著一座未來城市的圖片，那是專門生產半導體設備的城市，市中心是一座巨大的52層摩天大樓。

赫魯雪夫喜歡雄偉的工程，尤其是那些可以納入其豐功偉業的工程，所以他很熱情地支持那個建造蘇聯半導體城的概念。他給了巴爾與沙蘭特一個大大的擁抱，承諾他會全力支持。幾個月後，蘇聯政府批准了在莫斯科郊區興建半導體城的計畫。「微電子是機械腦，」赫魯雪夫向蘇聯的其他領導人如此解釋，「[9]這是我們的未來。」

蘇聯很快就在澤列諾格勒（Zelenograd）破土動工，澤列諾格勒在俄語中是「綠城」的意思，他們希望設計一個科學研究的天堂。蕭金想把那裡變成完美的科學聚落，裡面有研究實驗室與生產設施，還有學校、托兒所、電影院、圖書館、醫院——半導體工程師所需的一切都有。市中心附近是莫斯科電子技術學院（Moscow Institute of

Electronic　Technology），校舍的磚砌外觀是模仿英美大學的校園。從外面看，那裡就像矽谷一樣，只是少了點燦爛陽光。

08

「給我抄！」

大約在赫魯雪夫宣布支持興建澤列諾格勒的同時，蘇聯學生伯里斯．馬林（Boris Malin）從賓州留學一年返國，行李內放了一台小裝置：德州儀器的SN-51，那是美國最早販售的積體電路之一。馬林身材瘦削，頭髮烏黑，雙眼深邃，是蘇聯半導體設備領域的頂尖專家。他認為自己是科學家，而不是間諜。然而，負責蘇聯微電子的官員蕭金認為，SN-51是蘇聯必須不惜一切手段也要取得的設備。蕭金把馬林與一群工程師叫到他的辦公室，把晶片放在顯微鏡下，透過鏡頭凝視那塊晶片，並下令：「給我抄！完全照抄，不准有任何偏差，[1]給你們三個月的時間。」

被指說直接抄襲國外的研究成果時，蘇聯的科學家感到很憤怒。他們對科學的理解，跟美國的化學家及物理學家一樣先進。據悉，去美國的蘇聯交換學生表示，他們從蕭克利的課堂上很少學到[2]在莫斯科學不到的東西。事實上，蘇聯有世界上最頂尖的理論物理學家。2000年，基爾比終於因發明積體電路而榮獲諾貝爾物理學獎時（當時積體電路的共同發明者諾伊斯已過世），是與俄羅斯科學家艾費洛夫（Zhores Alferov）共同得獎。1960年代，艾費洛夫對半導體設備發光的方式，做了基礎的研究。1957年的人造衛星發射，1961年加加林的第一次太空飛行，以及1962年奧索金製作的積體電路，都是蘇聯正在變成科學強國的證據。連美國中情局也認為蘇聯的微電子業正迅速迎頭趕上。

然而，蕭金的抄襲策略有根本上的缺陷。抄襲用在製造核武上是有效的，因為美國與蘇聯在整個冷戰時期只製造了數萬件的核武。然而，在美國，德州儀器與快捷已經在學習如何量產晶片了。擴大生產的關鍵

在於可靠性，那是張忠謀與葛洛夫等美國晶片製造者在1960年代一直致力投入的挑戰。與蘇聯同業不同的是，他們可以借鑒其他製造先進光學、化學品、淨化材料、其他機械廠商的專業。萬一沒有幫得上忙的美商，快捷與德儀還可以求助德國、法國或英國，這三個國家都有先進的產業。

蘇聯可以大量生產煤炭與鋼鐵，但幾乎各種先進的製造[3]都處於落後狀態。蘇聯在產量上取勝，但品質或純度上沒有優勢，偏偏品質與純度對量產晶片來說至關重要。此外，西方的盟國透過出口管制協調委員會（COCOM），禁止向共產國家轉移包括半導體元件在內的許多先進技術。蘇聯人常透過設在中立的奧地利或瑞士的空殼公司，來繞過COCOM的限制，但這個途徑很難大規模地使用。因此，蘇聯的半導體廠通常不得不採用沒那麼精密的機器及沒那麼純淨的材料，因此生產出的可用晶片少了很多。

光靠間諜活動，只能為蕭金和他的工程師帶來有限的幫助。光是偷一塊晶片並無法說明它是怎麼製作的，就像偷一塊蛋糕也無法說明它是如何烘焙出來的。晶片的製程已經非常複雜。在史丹佛大學修蕭克利課程的外國交換學生，可能變成聰明的物理學家，但只有葛洛夫或波特那樣的工程師，才知道某些化學物質需要以什麼溫度加熱，或光阻劑該曝光多久。晶片製程的每一步都涉及專業知識，那些知識很少在特定的公司以外分享。這種專業技術甚至往往不會寫下來。蘇聯間諜已經是間諜界的佼佼者，但即使派出最幹練的特務，也無法竊取到夠多半導體生產過程中所需的大量細節與知識。

此外，根據摩爾定律的速率，最新的科技日新月異。即使蘇聯人設法照抄一種設計，取得了材料與機器，並複製生產過程，那都需要時間。德儀與快捷每年都會推出新設計，上面的電晶體數量愈來愈多。到了1960年代中期，最早的積體電路已經不是什麼新聞，而是又大又耗電、沒什麼價值的東西。相較於幾乎所有的科技，半導體技術正飛速前進。電晶體的尺寸與耗電量都在縮小，一平方吋的矽片上可放入的運算力，約每兩年就增加一倍。科學界找不到發展那麼快的其他技術了，所

以在半導體業竊取去年的設計，根本是毫無希望的策略。

蘇聯的領導人始終無法明白，為什麼抄襲策略使他們落後。蘇聯整個半導體業的運作，就像一家國防承包商——祕密進行、由上而下、軍事系統導向，照著訂單供貨，幾乎沒有創意空間。蕭金部長的一名下屬回憶道，蕭金「嚴格控制」抄襲過程。打從一開始，抄襲就是蘇聯半導體業的內建運作模式。即使蘇聯全國上下都採用公制度量衡，一些晶片的製造機器為了

4

更精準地抄襲美國的設計，還是改採英寸、而不是釐米。正因為抄襲策略，蘇聯的電晶體技術從一開始就落後美國幾年，而且從未趕上。

澤列諾格勒外表可能看起來像陽光不那麼燦爛的矽谷，但那裡有蘇聯最好的科學家及偷來的機密。不過，美蘇兩國的半導體系統卻是天壤之別。矽谷的新創企業創辦人會跳槽，並在廠房裡累積實務經驗；蕭金則是從莫斯科的部長辦公桌發號施令。與此同時，奧索金在里加過著默默無聞的生活，深受同事的敬重，但無法與任何未獲安全許可的人

5

談論他的發明。年輕的蘇聯學子並沒有因為想要成為像奧索金一樣的人而攻讀電機學位，因為沒有人知道他的存在。蘇聯人在職涯發展上追求的是在官僚體系內晉升，而不是設計新產品或尋找新市場。在過度關注軍事生產的國家中，民用商品向來是事後才想到的次要考量。

與此同時，這種抄襲心態也意味著，蘇聯半導體的創新路徑是由美國設定的。因此，蘇聯的半導體業雖然是該國最敏感、最神祕的產業之一，運作起來卻像一個經營不善的矽谷分部。在一個以美國晶片製造商為中心的全球化網絡中，澤列諾格勒只不過是的一個節點罷了。

09

電晶體推銷員

1962年11月，日本首相池田勇人前往富麗堂皇的愛麗舍宮，會見法國總統戴高樂。他為東道主帶來了一件小禮：一台索尼的電晶體收音機。戴高樂是講究形式與禮儀、思想傳統的軍人，視自己為法國高貴精神的化身。相較之下，池田勇人認為日本國民是純粹的物質主義者，並承諾在十年內使日本的國民所得增加一倍。戴高樂宣稱，日本只不過是個「經濟強國」，他在會見池田勇人後對助理不滿地說，池田勇人的舉止[1]跟「電晶體推銷員」沒兩樣。但不久之後，全世界都很羨慕日本，因為這個國家在銷售半導體上的成功，使它變得遠比戴高樂所想像的還要富強。

積體電路不僅以創新的方式連接電子元件，也以美國為中心把幾個國家編織成一個網絡。蘇聯因為抄襲矽谷的產品，無意間成了這個網絡的一部分。相反的，日本則是擁有日本商業精英與美國政府的支持，刻意融入美國的半導體業。

二戰結束時，有些美國人原本認為應該剝奪日本的高科技產業，作為日本發動殘酷戰爭的懲罰。然而，日本投降後不到兩年，美國的國防官員就採取了「強大的日本比弱小的日本[2]是更好的風險。」這樣的官方政策。除了短暫地阻止日本研究核子物理學以外，美國政府其實是支持日本[3]以科技與科學強國的形式重生。當時的挑戰在於，幫助日本重建經濟的同時，要把日本經濟與美國主導的體系綁在一起。讓日本成為電晶體推銷員，正是美國冷戰策略的核心。

電晶體發明的消息，最初是透過戰後接管日本的美軍傳到日本的。菊池誠是日本通產省電氣試驗所的年輕物理學家，該試驗所雇用了日本最頂尖的科學家。某天，上司把他叫進辦公室，告訴他

4

一個有趣的消息：美國的科學家把兩根金屬絲接到鍺晶體上，就能夠放大電流。菊池誠馬上知道有人發明了一種非比尋常的裝置。

身處在炸毀的東京，很容易讓人覺得自己與世界頂尖的物理學家隔絕。但東京的美軍占領總部提供了《貝爾系統技術期刊》（*Bell System Technical Journal*）、《應用物理學期刊》（*Journal of Applied Physics*）、《物理評論》等期刊，讓日本的科學家有機會翻閱。那些期刊刊登了巴丁、布萊頓、蕭克利的論文，本來在戰後的日本是不可能取得的。菊池誠回憶道：「我快速流覽裡面的內容，每次看到『半導體』或『電晶體』等字眼時，

5

心跳就會開始加快。」幾年後的1953年，巴丁在濕熱的9月造訪日本，參加國際純粹與應用物理學聯合會（International Union of Pure and Applied Physics）的會議，菊池誠在那裡見到了他。巴丁在東京獲得名人般的禮遇，他很驚訝有那麼多人想要為他拍照。在寫給妻子的信中，他提到：「我這輩子

6

沒見過那麼多閃光燈。」

巴丁飛抵東京的同一年，盛田昭夫從羽田機場起飛前往紐約。身為日本知名清酒廠的第十五代傳人，他從小就被培養要接掌家業。盛田昭夫的父親原本想讓兒子繼承盛田酒業，但盛田昭夫從小就愛玩電子產品。大學時攻讀物理系，為他指引了不同的方向。戰爭期間，物理專業可能救了他一命，他被分派到研究實驗室，而不是前往前線作戰。

事實證明，盛田昭夫的物理學位在戰後的日本相當實用。1946年4月，日本仍是一片廢墟時，盛田昭夫與前同事井深大合創了一家電子企業，不久就把公司改名為索尼（Sony），名稱來自sonus（拉丁語的「聲音」）及美國暱稱Sonny。他們推出的第一項產品是電子鍋，但銷量不佳。後來推出的錄音機運作得很好，銷量不錯。1948年，盛田昭夫

讀到貝爾實驗室發明的新電晶體，馬上就看出它的潛力。盛田昭夫回憶道，[7]那看起來很「神奇」，並夢想著改革消費電子裝置。

1953年，盛田昭夫飛抵美國後，美國的寬廣遼闊，以及消費者的驚人財富，都讓他震驚不已，尤其與戰後東京的匱乏相比更是天壤之別。盛田昭夫心想：「這個國家[8]似乎什麼都有。」他在紐約會見了AT&T的高階主管，他們同意授權讓他生產電晶體。他們也告訴他，別指望製造出比助聽器更實用的東西。

不過，盛田昭夫知道戴高樂所不明白的道理：電子是世界經濟的未來，電晶體很快就會嵌入矽晶片中，可能製造出難以想像的新裝置。盛田昭夫意識到，電晶體的體積更小、耗電量更少，勢必會轉變消費電子產品。他與井深大決定把公司的未來押在銷售這些消費電子產品上，而且不止賣給日本的消費者，也賣到世界上最富有的消費市場：美國。

日本政府也表達了對高科技的支持，在盛田昭夫造訪貝爾實驗室的同年，日本皇太子造訪了美國一家無線電研究實驗室。日本強大的通產省也想支持電子公司，但這個政府部門的影響好壞參半，索尼向貝爾實驗室申請的電晶體授權，一度被官僚拖延了好幾個月，理由是索尼在未經通產省同意下就與外國公司簽署合約，是[9]「不可原諒的荒謬行為」。

索尼在日本可以善用較低的工資水準，但其商業模式的核心仍是創新、產品設計與行銷。盛田昭夫採用的「授權」策略，與蘇聯部長蕭金的「抄襲」策略截然不同。許多日本公司是以高超的生產效率著稱。索尼擅長發掘新市場，以及利用矽谷最新的電路技術，為那些市場推出令人矚目的產品。盛田昭夫表示：「我們的計畫是用新產品引導大眾，而不是問大眾想要什麼產品。大眾不知道什麼東西可能生產出來，[10]但我們知道。」

索尼第一個熱賣的產品是電晶體收音機，就像池田勇人送給戴高樂的那種。幾年前，德儀曾試圖推出[11]電晶體收音機，雖然擁有必要的技術，卻因為定價與行銷搞砸了，不久就放棄那項業務。盛田昭夫看到了機會，很快就大量生產數萬台那種裝置。

然而，像快捷那樣的美國晶片公司，仍持續主導晶片生產的領先領域，例如與企業大型主機有關的業務。整個1960年代，日本公司為了智慧財產權支付了可觀的授權費；把晶片總銷售額的4.5%[12]給了快捷，3.5%給了德儀，2%給了西部電氣。美國晶片製造商也樂於把技術轉移給日本，因為日本公司似乎落後他們很多年。

索尼的專長不是設計晶片，而是設計消費品及訂製他們需要的電子產品。計算機是日本公司改造的另一種消費性裝置。1967年，德儀的董事長海格底要求基爾比設計一台半導體啟動的手持計算機。然而，德儀的行銷部認為，廉價的手持計算機沒什麼市場，因此那項專案一直停滯不前。日本的夏普電子（Sharp Electronics）不認同那個觀點，他們把加州生產的晶片放進計算機中。那種計算機遠比任何人想像的還簡單，也更便宜。夏普這次成功的出擊，確保了1970年代生產的多數計算機都是日本製的。海格底後來感嘆，如果德儀早點找到銷售自有品牌裝置的方法，德儀「會成為[13]消費電子領域的索尼」。然而，事實證明，想要複製索尼的產品創新與行銷專長，跟想要複製美國的半導體專業一樣困難。

美國與日本之間出現的半導體共生關係，需要拿捏平衡。兩國在供應與顧客方面都相互依賴。到了1964年，日本在離散電晶體的生產方面已超越美國，而美國公司則是生產最先進的晶片。美國公司製造了最好的電腦，而索尼、夏普等電子製造商所生產的消費品則推動了半導體的消費。日本的電子產品出口（包括半導體及依賴半導體的產品）從1965

年的6億美元，[14]激增到約二十年後的600億美元。

然而，這種相互依賴不見得容易。1959年，美國電子業協會（Electronics Industries Association）向美國政府求助，以免那些從日本進口的產品破壞「國家安全」及[15]他們的淨利。但是，讓日本建立電子業是美國冷戰策略的一部分。因此，1960年代的美方從未針對這個問題對日方施加太大的壓力。像《電子》雜誌這種產業雜誌，理論上立場應該偏向美國公司，卻指出「日本是美國太平洋政策的基石……如果日本無法與西半球及歐洲進行健全的商業往來，它會往別處[16]尋求經濟支持」，比如共產主義的中國或蘇聯。美國的策略需要讓日本獲得先進的技術及建立頂尖的事業。尼克森總統後來說：「一個有歷史的民族，是不會只滿足於[17]製造電晶體收音機的。」他們需要獲准、甚至被鼓勵去開發更先進的技術。

日本企業高層也同樣致力推動這種半導體的共生關係。當德州儀器想成為第一家在日本設廠的外國晶片製造商時，就面臨到錯綜複雜的法規障礙。索尼的盛田昭夫碰巧是海格底的朋友，他主動提議幫德儀排除萬難，以換取部分獲利。他請德儀的高層匿名到東京，以假名入住飯店，而且不要離開飯店房間。盛田昭夫祕密前往那家飯店，並提議成立一家合資企業：德儀在日本生產晶片，索尼負責應付官僚。盛田昭夫對德儀的高層說：「我們會[18]幫你們打通關。」德儀高層認為索尼「真囂張」（他們覺得這種說法是在稱讚索尼）。

在盛田昭夫的協助下，德儀經歷了官僚百態又喝了許多綠茶後，日本官方終於批准德儀在日本開設半導體廠。對盛田昭夫來說，這又是一次大成功，使他搖身變成太平洋兩岸最著名的日本企業家之一。對美國

的外交策略家來說，兩國間的貿易與投資連結愈多，就可把日本與美國主導的體系綁得更緊密。對首相池田勇人這樣的日本領導人來說，這也是一場勝利。他提前兩年實現了讓日本的

19

國民所得翻倍的目標。日本在世界舞台上獲得了新的席位，這要歸功於盛田昭夫那樣勇敢無畏的電子企業家。電晶體推銷員的影響力，遠遠超出了戴高樂的想像。

10

電晶體女孩

「他們的穿著是西式的，但他們的愛情是建立在[1]東方古老的樂趣上。」1964年出版的澳洲通俗小說《電晶體女孩》（*The Transistor Girls*）封面上寫道。小說的情節涉及中國黑幫、國際陰謀，以及裝配線的女工，她們「靠夜間的業外活動來增添收入」。《電晶體女孩》的封面圖案是一位衣著暴露的日本年輕女子，背景是一座寶塔的剪影。封底的圖案是一個更有東方味道的女性，但穿得更少。

最早的半導體大多是由男性設計，但組裝半導體的工人大多是女性。摩爾定律預言，運算力的成本會驟降。然而，要實現摩爾的願景，不只需要縮小晶片上每個電晶體的尺寸，也需要更多的廉價工人來組裝。

快捷半導體的許多員工之所以加入公司，是為了尋找財富，或是出於對工程的熱愛。但查理．斯波克（Charlie Sporck）之所以加入快捷，是因為被上一份工作趕出來了。他愛抽雪茄，是個幹勁十足的紐約人，[2]非常注重效率。在這個充滿傑出科學家及技術遠見家的產業裡，斯波克的專長是盡量從工人與機器提取生產力。運算成本的降幅之所以能跟上摩爾預測的進度，就是靠這種強勢的管理者逼出來的。

斯波克在康乃爾大學讀工程系，1950年代中期受雇於奇異（GE）位於紐約州哈得遜弗斯（Hudson Falls）的工廠。他的任務是改進奇異的電容器製程，並提出改善工廠裝配線流程的建議。他認為他的新技術會提高生產力，但掌控裝配線工人的工會則認為斯波克威脅到他們對生產流程的控制。於是，工會揭竿而起，舉行了一場反斯波克的集會，還

焚燒他的肖像。工廠的管理高層膽怯地讓步，並向工會承諾，斯波克的改革永遠不會實施。

斯波克心想：「

管你們去死！」當晚他回到家就開始找其他工作。1959年8月，他在《華爾街日報》上看到一則徵才廣告，一家名叫快捷半導體的小公司正在徵生產經理。於是他寄出履歷，不久快捷就通知他去紐約市萊辛頓大道上的一家飯店面試。兩位面試官在豪飲飽餐一頓後，才醉醺醺地面試他，而且當場就錄用他了。這可說是快捷做過最好的人才招募決定之一。斯波克從未去過俄亥俄州以西的地方，但他馬上就接受了這份工作，不久就到山景城報到了。

斯波克回憶道，他一到加州時就驚訝地發現，這家公司「在處理工人與工會方面，幾乎毫無能力。我為新雇主帶來了這項能力」。許多公司不會把最終導致管理者的肖像被焚燬的勞資關係策略，形容成一種「能力」。但在矽谷，工會很弱勢，而斯波克致力維持那種狀態。他宣稱，他與快捷的同事「堅決反對」工會。身為務實的工程師，斯波克並不是典型的工會打手。他的辦公室非常簡樸陽春，跟軍營沒兩樣。他對於公司能夠發放股票選擇權給多數的員工感到自豪。那對東岸的傳統電子公司來說幾乎是沒聽過的做法。但他也非常堅持，員工既然獲得了股票選擇權，相對的就要竭盡所能地

提高生產力。

東岸電子公司的員工通常以男性居多，舊金山南部的晶片新創企業則大多雇用女工來做

裝配線的工作。女性在聖塔克拉拉谷的裝配線已經工作數十年了，先是1920年代與1930年代在推動當地經濟的水果罐頭廠裡工作，接著是二戰期間在航太業工作。1965年，美國國會決定放寬移民規定，為當地的勞力市場增添了許多來自外國的女性。

晶片公司之所以雇用女性，是因為女性的工資較低，也比較不會像

男性那樣要求更好的工作條件。生產經理也認為，女性的小手更適合組裝及測試半導體。1960年代，把矽晶片插上塑膠片的過程，首先需要透過顯微鏡來觀察矽片在塑膠片上的位置。接著，組裝工人把這兩片東西組在一起，用機器加熱、加壓、加上超音波振動，讓矽片與塑膠底座結合起來。然後，同樣是以手工連上細細的金屬線，好讓晶片導電。最後，必須把晶片插入儀表中做測試——當時這個步驟[6]也只能靠手工完成。隨著晶片需求的飆升，組裝晶片的人手需求也跟著飆升。

像斯波克這樣的半導體公司高層，無論放眼加州何處，都找不到夠多的廉價工人。快捷在美國各地尋找，最終在緬因州以及新墨西哥州的納瓦霍族保留地（Navajo reservation）設廠。斯波克表示，在緬因州設廠是因為那裡的工人「痛恨工會」；至於在納瓦霍族保留地設廠，則是看上當地提供的稅賦優惠。不過，即使在美國最貧窮的地區，勞力成本依然相當可觀。諾伊斯以私人資金投資了一家香港的無線電組裝廠。當時香港是英國的殖民地，與毛澤東的共產中國只隔著一條邊界。那裡的工資是美國平均水準的十分之一，約每小時25美分。諾伊斯告訴斯波克：「你怎麼不去看看呢？」[7]斯波克很快就搭機去看了。

快捷的一些同事對此感到擔憂。「共產中國近在咫尺，」一位同事提醒他看看駐紮在香港北部邊境的數千名中國人民解放軍，「你會被碾過去。」但諾伊斯投資的那家無線電組裝廠展現出機會。斯波克的一位同事回憶道：「中國的勞工，在那裡工作的女孩，超出了我們的預期。」快捷半導體的高層認為香港裝配工人的速度似乎是美國人的兩倍。一位高層指出，而且他們更「[8]願意忍受單調的工作」。

快捷在恆業街（Hang Yip Street）的一家涼鞋廠租了空間，那裡毗鄰香港的老機場，就在九龍灣岸邊。不久，大樓外面裝上了一個幾層樓

高的巨型快捷商標，照亮了港口周圍航行的帆船。快捷繼續在加州生產矽晶圓，但開始把半導體運到香港做最後的組裝。1963年，也就是香港工廠營運的第一年，該廠就組裝了1.2億個裝置。而且產品的品質很好，低廉的勞力成本意味著快捷可以雇用訓練有素的工程師來管理裝配線——換成在加州的話，[9]成本會貴得驚人。

快捷是第一家把組裝外移到亞洲的半導體公司，但德儀、摩托羅拉以及其他企業也迅速跟進。十年內，幾乎所有美國晶片製造商都在國外設有組裝廠。斯波克開始把目光投向香港以外的地方。香港每小時25美分的工資僅為美國的十分之一，卻是亞洲最高的。1960年代中期，台灣工人每小時的工資是19美分，馬來西亞是每小時15美分，新加坡是每小時11美分，[10]南韓是10美分。

斯波克的下一站是新加坡這個以華裔為主的城市國家。快捷的一位資深員工回憶道，新加坡的領導人李光耀[11]「幾乎是禁止」工會的。不久，快捷又到馬來西亞的檳城設廠。早在「全球化」這個詞出現的幾十年前，半導體業就已經全球化，並為如今以亞洲為中心的供應鏈奠定了基礎。

斯波克這樣的管理者其實對全球化沒有任何計畫。如果緬因州或加州的成本跟亞洲一樣，他也樂於繼續在緬因州或加州設廠。但亞洲有成千上百萬的農民在尋找工廠的工作，這些充裕的人力使工資持續維持在低檔，而且有好一段時間都保證那麼低。美國外交政策的策略家把香港、新加坡、檳城等城市的華裔工人，視為顛覆毛澤東共產黨的好機會。斯波克則是把他們視為資本家的夢想：「我們在矽谷遇到了工會問題，[12]在東方從來沒有這種問題。」

11

精準打擊

1970年代初期，德儀的員工搭機往返新加坡與香港的半導體廠時，偶爾會透過機窗俯瞰從越南沿海平原的[1]戰場上飄起的縷縷煙霧。德儀在亞洲各地的員工專注於製造晶片，而不是戰爭。不過，他們在德州的許多同事一心只想著戰爭。德儀的第一份晶片大合約，是為義勇兵二號那樣的大型核導彈製造晶片，但越戰需要不同類型的武器。越南早期的轟炸行動，比如1965年至1968年的滾雷行動（Operation Rolling Thunder），投擲了八十多萬噸的炸彈，比二戰期間太平洋戰區所[2]投下的炸彈還多。然而，這種火力對北越軍隊的影響微乎其微，因為大多數的炸彈並未擊中目標。

美國空軍意識到，他們需要更聰明地作戰。軍方試驗了各種導彈與炸彈的技術，從使用遙控器到紅外線尋標器都試過了。其中一些武器證明相當有效，百舌鳥飛彈（Shrike missile）就是一例——那是從飛機上發射，使用簡單的導引系統，把導彈指向雷達無線電波的源頭，藉此鎖定敵人的雷達設施。但許多其他的導引系統似乎從未奏效。1985年美國國防部的一項研究發現，空對空導彈成功擊落視程外的敵機，[3]竟然只有四例。在這樣的限制下，導引武器似乎不可能決定戰爭的結果。

軍方的結論是，許多導引武器的問題出在真空管。美國戰鬥機在越南上空使用的麻雀三防空飛彈（Sparrow III anti-aircraft missile）是依靠手工焊接的真空管。東南亞的潮濕氣候、起降時的衝擊力，以及戰鬥機的激烈混戰，導致飛彈經常故障。麻雀飛彈的雷達系統平均使用五到

十個小時就會故障一次。戰後一項研究發現，在越南發射的麻雀飛彈中，僅9.2%擊中目標，66%故障，其餘的[4]根本沒擊中目標。

然而，美軍在越南面臨的最大挑戰是打擊地面目標。空軍的資料顯示，越戰開始時，炸彈平均是落在距離目標128米的範圍內，因此以炸彈擊中車輛[5]基本上是不可能的。德儀34歲的專案工程師威爾登．沃德（Weldon Word）想要改變這點。沃德的雙眼湛藍銳利，嗓門很大，聲音低沉有磁性，他的經歷使他擁有思考戰爭的獨特視角。不久前，他才在一艘海軍艦艇上為德儀新開發的聲納收集資料長達一年，最近剛結束這項單調乏味的任務。但由此可見，軍事系統只要使用正確的感測器與儀器，就可以收集到很多資料。早在1960年代中期，沃德就已經想像，使用微電子技術來改造軍方的殺傷鏈（kill chain）[*1]。衛星與飛機上的先進感測器將會掌握目標，追蹤它們，引導飛彈飛向目標，並確認目標遭到摧毀。這聽起來像科幻小說，但德儀已經在研究實驗室裡產出[6]必要的組件。

德儀為洲際彈道飛彈（ICBM）製造晶片，那種飛彈在導引上碰到的挑戰比較直接。它們是從地面的固定位置發射，而不是從一邊閃躲敵軍砲火、一邊以時速數百英里的速度飛行的飛機上發射。ICBM的目標也不會移動，飛彈本身只會受到風力與天氣狀況的輕微影響，因為它們是以音速的數倍從外太空俯衝下來。它們的彈頭夠大，即使有輕微的失誤，仍有強大的破壞性。從蒙大拿州攻擊莫斯科，比用F-4戰機從幾千英尺的高空投彈擊中卡車容易多了。

這是一項複雜的任務，但誠如一位同事所言，沃德知道「便宜又常見」的武器才是最佳武器，因為這樣才能確保它們[7]

常在訓練與戰場上使用。微電子的設計必須盡可能簡單，因為每個必須焊接的連結都會增加不可靠性。電子設計愈簡單，系統就越愈可靠，也愈省電。

許多國防承包商試圖向國防部銷售昂貴的飛彈，但沃德要求他的團隊製造售價[8]像平價家庭轎車一樣的武器。他一直在尋找一種簡單好用的裝置，可以迅速部署在各種飛機上，讓每個軍種都能使用，也讓美國的盟友能迅速採用。

1965年6月，沃德飛往佛羅里達州的埃格林空軍基地（Eglin Air Force Base）會見喬．戴維斯上校（Joe Davis）。戴維斯是為越戰採購新裝備的專案負責人，15歲尚未從軍時就開始學飛行，二戰與韓戰期間開過戰鬥機與轟炸機，之後曾在歐洲與太平洋地區指揮空軍部隊。他比任何人都清楚什麼類型的武器可在空軍任務中發揮效用。沃德在戴維斯的辦公室裡坐下時，戴維斯打開辦公桌的抽屜，拿出一張頷龍橋的照片。那是一個160米長的金屬結構，橫跨北越的馬江，周圍有防空系統。沃德與戴維斯數了數，發現那座橋的周圍有800個彈坑，每個彈坑都是美國炸彈或火箭沒擊中目標所造成的。此外還有數十枚、甚至數百枚炸彈落在河裡，沒留下任何痕跡。那座橋依然屹立不倒。戴維斯問道，[9]德儀能幫上忙嗎？

沃德認為，德儀在半導體電子方面的專業知識可以讓空軍的炸彈更精準地運作。德儀對於炸彈設計一無所知，所以沃德是從常規炸彈著手：340公斤的[10]M117炸彈。美軍已經投了638枚M117炸彈在頷龍橋的附近，但無一擊中目標。他為M117炸彈增添了一組小尾翼，以便炸彈從天而降時時，引導其飛行。最後，他安裝了一個簡單的雷射導引系統來控制那組尾翼。一個小矽片被分成四個象限，放在一個透鏡後面。從目標反射的雷

射會穿過透鏡，照射到矽片上。萬一炸彈偏離軌道，一個象限將比其他象限接收到更多的雷射能量，電路會移動尾翼以重新定位炸彈的軌跡，這樣一來，雷射就會直接穿過透鏡了。

戴維斯上校給德儀九個月的時間及9.9萬美元，來製造及交付這種雷射導引炸彈。這種炸彈設計簡單，很快就通過空軍的測試。1972年5月13日，美軍的軍機在頷龍橋投下24枚炸彈。這座橋在那天以前一直屹立在數百個彈坑之間，彷彿一座紀念碑，紀念著二十世紀中葉轟炸戰術的不精確。這次，美國的炸彈直接命中目標。數十座其他的橋樑、鐵路樞紐，以及其他的戰略要地，也遭到新型精準炸彈的襲擊。一個簡單的雷射感測器與幾個電晶體，把投擲638次但命中率為零的武器，變成了[11]精準摧毀的工具。

最終，越南農村的游擊戰，並不是一場靠空中轟炸能打贏的戰爭。德儀推出「鋪路」（Paveway）雷射導引炸彈的時機，正好碰上美國戰敗。當魏摩蘭將軍（William Westmoreland）等軍事領導人預測「戰區處於即時或接近即時的監視之下」及「自動火力控制」時，許多人覺得那些說法彷彿是當初把美國拖入越戰的[12]狂妄豪語。因此，除了少數幾位軍事理論家與電子工程師，幾乎沒有人知道，越南其實是一個成功的武器測試場。那些武器把微電子與炸藥結合在一起，徹底改變了戰爭，也就此改變了美國的軍力。

*1　在軍事上是指一種攻擊過程，具體是指識別打擊的目標、向目標派遣兵力、決定並下令攻擊目標、最後摧毀目標等一系列攻擊過程。

12

供應鏈布局

德州儀器的高層馬克．謝弗德（Mark　Shepherd）二戰期間曾在海軍服役並派駐亞洲，張忠謀曾打趣地說，謝弗德對遠東的印象[1]僅限於酒吧與舞女。身為達拉斯警察之子，謝弗德6歲就自己組裝了[2]第一根真空管。他是建立德儀半導體業務的核心要角，基爾比發明第一個積體電路時所屬的部門也是由他管理。謝弗德肩膀寬闊，西裝筆挺，留著西裝頭，笑起來繃著嘴角，看上去像個德州企業大亨。現在他已經準備好領導德儀，把部分的生產業務外移到亞洲。

1968年，張忠謀與謝弗德第一次造訪台灣，這是他們亞洲行的一部分，目的是為新的晶片組裝廠選址。那次訪問的經驗糟透了。謝弗德點的牛排，附上的醬料居然是醬油，跟他習慣的德州牛排完全不同，讓他很生氣。他首次拜會位高權重又精明的經濟部長李國鼎時，李國鼎聲稱智慧財產權是「帝國主義用來[3]欺負落後國家的東西」，雙方因此不歡而散。

李國鼎把謝弗德視為美帝的代理人並沒有錯。但與試圖把美國趕走的北越人不同，李國鼎最終意識到，與美國更深入的融合，將對台灣有利。台灣與美國自1955年以來一直是條約上的盟友，但越戰失敗後，美國做出的安全承諾看起來不太可靠。從南韓到台灣，從馬來西亞到新加坡，這些反共政府都在尋求美國不會讓他們孤立無援的保證，他們也在尋找就業與投資機會，希望解決民眾對經濟的不滿，那些不滿會驅使一些民眾投向共產主義的懷抱。李國鼎意識到，德儀可以幫台灣同時解決這兩個問題。

美國的策略家擔心，美國支持的南越即將崩解，可能會衝擊整個亞

洲。外交政策的策略家認為，這時亞洲各地的華人社群很容易被共產黨滲透，像骨牌一樣紛紛倒向共產黨，變成親共勢力。例如，馬來西亞的華裔就是該國共產黨的中堅勢力。新加坡叛逆的工人階級主要也是華裔。中國正在尋找盟友，也在探尋美國的弱點。

對於共產黨即將在越戰中獲勝，沒有人比依然聲稱自己統治著整個中國的台灣政府更擔心。1960年代對台灣經濟來說是不錯的十年，但外交政策方面卻是多災多難。台灣的專政者蔣介石仍夢想著反攻大陸，但軍力平衡已明顯對他不利。1964年，中國進行第一次核武測試，緊接著又做了熱核武器測試。面對擁有核武的中國，台灣比以往更迫切需要美國的保護。然而，隨著越戰的拖延，美國削減了對台灣等亞洲盟友的

4

經濟援助。對一個如此依賴美國支持的國家來說，這是個不祥之兆。

於是，李國鼎等台灣官員開始制定策略，目標是在經濟上與美國整合，而半導體正是

5

這項計畫的核心。李國鼎曾在劍橋大學攻讀核子物理學，也經營過鋼鐵廠，後來帶領台灣經濟發展度過戰後幾十年。李國鼎知道，許多台裔美籍的半導體工程師願意幫忙。在達拉斯，張忠謀積極鼓勵德儀的同事在台灣設廠。許多人後來把生於中國的張忠謀說成「回到」台灣，但1968年其實是他首度踏上台灣。自從共產黨取得中國政權以來，他一直住在美國。不過，張忠謀在史丹佛大學博士班的兩個同學來自台灣，他們說服他相信，台灣的商業環境比較好，

6

工資也會維持在低檔。

李國鼎原本指責謝弗德是帝國主義者，但不久就改變態度。他意識到，與德儀合作可能會改變台灣的經濟、能夠建立產業以及轉移技術。與此同時，電子組裝將促進其他投資，幫台灣生產更多價值較高的產品。隨著美國人對於在亞洲的軍事承諾態度轉向懷疑，台灣亟需把台美關係多樣化。那些對保衛台灣不感興趣的美國人，可能願意捍衛德儀。

台灣島上設立的半導體廠愈多，台灣與美國的經濟關係愈密切，台灣就愈安全。1968年7月，德儀的董事會打理好德儀與台灣政府的關係後，批准在台灣設廠。1969年8月，這家工廠開始組裝第一批裝置。1980年，該廠出貨量

7

已突破10億個。

台灣不是唯一認為半導體供應鏈可以帶來經濟成長與政治穩定的國家。1973年，新加坡的領導人李光耀告訴美國總統尼克森，他指望出口能

8

「吸收新加坡的失業」。在新加坡政府的支持下，德儀與國家半導體（National Semiconductors）在新加坡設立組裝廠，許多晶片製造商也迅速跟進。1970年代末期，美國半導體公司在國際雇用了數萬名工人，主要分布在

9

南韓、台灣與東南亞。德州與加州的晶片製造商、亞洲的獨裁者，以及亞洲許多半導體組裝廠的勞工（大多是華裔）之間，形成了一個新的國際聯盟。

半導體重塑了美國的亞洲盟友的經濟與政治。勤奮的裝配線勞工，轉變了曾經醞釀政治激進主義的城市。他們樂於擺脫失業或自給自足的農業，到工廠從事

10

收入較高的工作。到了1980年代初期，電子業占新加坡國民生產毛額（GNP）的7%，也占製造業就業數的四分之一。在電子產品的生產中，60%是半導體裝置，其餘大部分是沒有半導體就無法運作的產品。在香港，電子製造業創造的就業機會高居第二，只比紡織業少。在馬來西亞，檳城、吉隆坡、麻六甲的半導體生產蓬勃發展，新的製造業就業機會為1970年至1980年間離鄉轉往都市的15%馬來西亞勞工提供了工作。這種大規模的城鄉遷徙往往會破壞政治穩定，但馬來西亞靠著許多收入較高的電子組裝工作，得以維持低失業率。

從南韓到台灣，從新加坡到菲律賓，半導體組裝廠的地圖看起來很像美國在亞洲各地的軍事基地圖。然而，即使美國後來終於承認越戰失敗、並減少在亞洲的軍事部署，這些跨太平洋的供應鏈依然存在。到了1970年代末期，美國的亞洲盟友並未像骨牌那樣紛紛倒向共產主義，而是與美國更緊密地融合。

1977年謝弗德再度造訪台灣，並與李國鼎會面，這次來訪距離他們首次見面已近十年。這時台灣仍面臨中國入侵的風險，但謝弗德對李國鼎說：「我們認為台灣經濟的實力與活力足以抵消那個風險。德儀會留下來，[11]繼續在台灣發展。」如今德儀在台灣仍有廠房。同時，台灣已把自己變成矽谷不可或缺的合作夥伴。

13

英特爾的改革者

1968年似乎是一個革命性的時刻。從北京到柏林，再到柏克萊，激進份子與左派份子正準備推翻既有秩序。北越的新春攻勢考驗了美國軍力的極限。但如今回顧過往，《帕羅奧圖時報》（*Palo Alto Times*）第六版搶在世界各大報之前報導的獨家新聞，才是當年最具革命性的事件：「創辦人離開快捷，[1]創立自己的電子公司」。

諾伊斯與摩爾的反叛，並不像是加州東灣（East Bay）正在上演的抗議活動。當時，柏克萊的學生與黑豹黨（Black Panthers）策劃暴力反叛行動，夢想著廢除資本主義。在快捷，諾伊斯與摩爾對於沒有股票選擇權感到不滿，也厭倦了紐約總部的干預。他們的夢想不是摧毀既有的秩序，而是重塑秩序。

諾伊斯與摩爾離開快捷的速度，跟十年前他們離開蕭克利的新創企業一樣快。他們離開後共同創辦了英特爾（Intel），代表Integrated Electronics（集成電子）之意。在他們的願景中，電晶體將成為有史以來最便宜的產品，但全球消費的電晶體數量將會以兆為單位。人類將透過半導體獲得很大的力量，同時也離不開半導體。世界與美國的連結日益緊密，而美國內部的電路也正在改變。工業時代即將結束。接下來將形塑世界經濟的，是把電晶體蝕刻到矽中的專業技術。帕羅奧圖、山景城這些加州小鎮，正在轉變成新的全球權力中心。

英特爾創立兩年後，推出了第一款產品：一種名為「動態隨機存取記憶體」（DRAM）的晶片。1970年代以前，電腦通常不是使用矽晶片來記憶資料，而是使用一種名為磁芯（magnetic core）的裝置，那是一種由微小金屬環所組成的矩陣，用電線網格串在一起。一個金屬環被磁

化時，它會為電腦儲存1；未磁化的金屬環則是0。把金屬環連在一起的電路網，可以打開或關閉每個金屬環的磁性，並「讀取」特定的金屬環是1、還是0。然而，記憶1與0的需求正大幅增加，那些金屬環與電路能縮小的程度有限。如果把這些組件再縮得更小，裝配工人根本無法以手工的方式把它們編在一起。隨著大家對電腦記憶體的需求激增，磁芯無法跟上[2]這波爆炸性的成長。

1960年代，IBM的羅伯．丹納德（Robert Dennard）這類的工程師開始想像可以比小金屬環更有效率地「記憶」的積體電路。丹納德的一頭黑髮留到耳下，髮尾呈直角往外翹，與地面平行，使他看起來像個古怪的天才。他提議把一個微型電晶體和一個電容器結合起來，變成一種微型的儲存裝置，可以充電（1）或不充電（0）。由於電容器用久會漏電，所以丹納德的想法是透過電晶體對電容器反覆充電。這種晶片稱為動態（因一再充電）隨機存取記憶體，簡稱DRAM。直到今天，這種晶片仍是電腦記憶體的核心。

DRAM晶片的運作原理與舊的磁芯記憶體一樣，借助電流來儲存1和0。但DRAM電路並不依賴線路與金屬環，而是刻在矽中，不需要手工編成，因此故障較少，又可以做得更小。諾伊斯與摩爾認為，他們的新公司英特爾可以用遠比磁芯還高的密度把DRAM放在晶片中。看一眼摩爾定律的圖就知道，只要矽谷能繼續縮小電晶體，DRAM晶片就會席捲電腦記憶體產業。

英特爾打算主宰DRAM晶片事業。記憶體晶片不需要專門設計，因此相同設計的晶片可用於許多不同類型的設備，這使得量產變得可能。相反的，另一種主要類型的晶片（負責「運算」，而非「記憶」）是專門為每種設備設計的，因為每種設備的運算問題都不一樣。例如，計算機的運作與導彈的導引系統不同，因此1970年代以前，它們是使用不同類型的邏輯晶片。這種專業化推高了成本，所以英特爾決定把重點放在記憶體晶片上，靠量產創造規模經濟。

然而，諾伊斯永遠無法抗拒工程難題。雖然他剛募集了數百萬美元，承諾他的新公司將生產記憶體晶片，但他很快又被說服，增設了一條生產線。1969年，日本計算機公司Busicom找上諾伊斯，請英特爾為其最新的計算機設計一套複雜的電路。手持計算機相當於1970年代的iPhone，這項產品使用最先進的運算技術來壓低價格，讓大眾可以隨身攜帶一個功能強大的塑膠裝置。許多日本公司製造計算機，但他們常依賴矽谷來設計及製造晶片。

諾伊斯請泰德．霍夫（Ted　Hoff）處理Busicom的要求。霍夫是說話溫和的工程師，加入英特爾以前是從事神經網絡的學術研究。英特爾的員工大多是物理學家或化學家，他們把焦點放在晶片上穿梭的電子。霍夫與他們不同，他在電腦架構方面的背景，讓他能從半導體驅動的系統面

3

來看半導體。Busicom告訴霍夫，他們需要12個不同的晶片，總計有2.4萬個電晶體，這些晶片要按照他們的設計來排列。霍夫認為這對英特爾這種小新創公司來說太複雜了。

他思考Busicom的計算機時，意識到電腦面臨著客製化邏輯電路與客製化軟體之間的權衡。由於晶片製造是客製化業務，為每台設備提供專門的電路，客戶不會認真考慮軟體。然而，英特爾在記憶體晶片方面的進步，再加上記憶體晶片隨著時間的推移可望加倍成長，這表示電腦很快就會有處理複雜軟體所需的記憶體容量。霍夫因此認為，設計一種標準化的邏輯晶片，搭配一個功能強大的記憶體晶片，內建不同類型的軟體程式設計，就可以計算許多不同的東西，而且這種設計很快就會變得更便宜。畢竟，霍夫很清楚沒有人製造的記憶體晶片

4

比英特爾的更強大。

英特爾不是第一家考慮生產通用邏輯晶片的公司。有一家國防承包商為F-14戰鬥機上的電腦所生產的晶片，跟英特爾的晶片很像。然而，那種晶片的存在一直保密到1990年代才揭露。英特爾推出一款名為4004的晶片，並形容那是世界第一款微處理器——就像英特爾在廣告中

所說的，「晶片上的可程式化微處理器」。它可以應用在許多不同類型的設備上，並在運算界

5

掀起一場革命。

1972年，諾伊斯在父母結婚50週年的紀念派對上，打斷了慶祝活動，舉起一塊矽晶圓，對家人宣布：「

6

這將改變世界。」現在，通用邏輯晶片可以量產了。電腦業已經為自己的工業革命做好準備，而英特爾擁有世界上最先進的裝配線。

加州理工學院的卡弗．米德教授（Carver Mead）是最瞭解量產的運算力將如何改變社會的人。米德雙眼銳利，蓄著山羊鬍，看起來比較像柏克萊的哲學家，而不是電子工程師。快捷創立不久的某一天，摩爾造訪米德在加州理工學院的辦公室，他拿出一隻襪子，裡面

7

裝滿了Raytheon 2N706電晶體。摩爾把那些電晶體送給米德，讓他在電機工程課上使用。兩人很快就變成朋友，摩爾也聘請充滿遠見的米德來當顧問。多年來的每個星期三，米德都在英特爾的矽谷設施中度過。摩爾首度在1965年那篇著名的文章中描繪電晶體密度將呈指數型成長，但「摩爾定律」這個詞是米德創造出來描述那個現象的術語。

「在接下來的十年，」米德在1972年時預測：「社會的各方面都會出現某種程度的自動化。」他想像，隨著這些矽晶片的普及與平價化，「我們的電話、洗衣機或汽車內部的深處都會有一台微型電腦」。米德計算：「過去200年間，我們製造商品的能力以及人的移動能力提高了100倍。但在過去的20年間，我們處理及擷取資訊的速度增加了100萬到1000萬倍，」資料處理的革命性爆發即將來臨，「我們將有

8

無窮的運算力。」

米德預言了一場對社會與政治都影響深遠的革命。在這個新世界，能產出運算力並運用軟體來操縱運算力的人，將擁有影響力。矽谷的半導體工程師擁有專業知識、人脈網絡，以及股票選擇權，這讓他們能夠制定未來的規則——而其他人都必須遵守那些規則。工業社會逐漸式

微，取而代之的是數位世界。無數的晶片遍及社會各角落，儲存及處理著1與0。科技大亨的時代來臨了。「社會的命運懸而未決，」米德宣稱：「催化劑就是微電子技術，以及它在愈來愈小的空間裡塞入愈來愈多元件的能力。」不在這個產業的局外人依稀感受到世界正在改變，但英特爾的領導者知道，如果他們能夠大幅擴大可用的運算力，顛覆性的改變就會發生。1973年，摩爾說道：「我們才是真正的改革者，幾年前那些留著長髮與鬍子、[9]

破壞學校的小伙子才不是。」

14

國防部的抵銷策略

從諾伊斯與摩爾的改革中獲益最多的，莫過於舊秩序的基石：國防部。1977年，初到華盛頓的威廉．裴瑞（William Perry）覺得自己「像糖果店裡的孩子」。對裴瑞這種矽谷創業者來說，在國防部擔任研究與工程事務副部長是「世界上最好的工作」。沒有人購買技術的預算比國防部還大。而且，在華盛頓，幾乎沒有人如此瞭解微處理器與強大的記憶體晶片將如何改變國防部依賴的所有武器與系統。

諾伊斯與摩爾無視政府的需求，他們的主要業務是為大眾市場的計算機與企業的大型主機提供晶片。裴瑞與他們不同，他對國防部瞭若指掌。身為賓州麵包師傅之子，他的職業生涯是從矽谷開始的。他本來在喜萬年電子防禦實驗室擔任科學家。這個實驗室是喜萬年公司旗下的一個單位，也就是張忠謀從麻省理工畢業後加入的那家公司。裴瑞在加州的喜萬年工作時，負責設計高度機密的電子裝置，用來監控蘇聯的導彈發射。1963年秋季，U-2偵察機拍到蘇聯在古巴部署導彈的照片，國防部立刻召集10位專家到華盛頓檢視那些照片，裴瑞就是其中之一。裴瑞還很年輕，就已經被視為美國[1]軍事方面的頂尖專家。

裴瑞在喜萬年的工作使他迅速進入美國的國防體系，但他仍住在山景城。對於一個被新創企業包圍的工程師來說，老派的喜萬年開始顯得既官僚又乏味，它的技術很快就過時了。矽谷的晶片製造商已經量產晶片很久以後，喜萬年的消費性產品與軍用產品還在用真空管。裴瑞對於產業裡固態電子技術的進展很瞭解，他跟諾伊斯在同一個帕羅奧圖牧歌合唱團唱歌。察覺到技術變革之後，裴瑞於1963年創立自己的公司，為軍方設計監控設備。為了獲得需要的處理力，裴瑞跟他的合唱團搭檔——英特爾的執行長——

[2]購買晶片。

裴瑞後來回憶，在陽光明媚的矽谷，「一切都是新的，一切都有可能」。但是1977年，他加入國防部時，從國防部看出去的世界黯淡許多。當時美國剛輸掉越戰；更糟的是，根據安德魯．馬歇爾（Andrew Marshall）等國防部的分析師警告，蘇聯幾乎完全侵蝕了美國的軍事優勢。馬歇爾生於底特律，身材矮小，禿頭，鷹鉤鼻，眼鏡的後方的雙眼高深莫測地觀察著這個世界。二戰期間，他曾在一家[3]機床廠工作，後來成為過去半世紀以來最有影響力的政府官員之一。1973年，馬歇爾受命為國防部成立淨評估室（Office of Net Assessment）[*1]，負責預測戰爭的未來。

馬歇爾評估後所得出的悲觀結論是，美國在東南亞打了10年毫無意義的戰爭後，已經失去軍事優勢。他一心一意想要恢復美國的往日榮光。蘇聯衛星史普尼克與古巴導彈危機的確令美國震驚，但蘇聯一直到1970年代初期才累積到夠多的洲際彈道飛彈，足以確保他們能承受美國的核武攻擊，並以自己的毀滅性原子彈進行報復。更令人擔憂的是，蘇聯軍隊的坦克與飛機遠比美國還多，而且已經部署在歐洲的潛在戰場上。美國在國內面臨削減國防開支的壓力，根本就跟不上蘇聯。

馬歇爾等戰略家知道，面對蘇聯的數量優勢，唯一的辦法是生產品質更好的武器，但怎麼做呢？早在1972年，馬歇爾就寫道，美國需要善用它在電腦領域「巨大又持久的[4]領先優勢」。他寫道：「好的策略是，持續發展那種領先優勢，並利用那項優勢來改變我們對戰爭的概念、進而從中獲益。」他設想的是「快速的資訊收集」、「精密的指揮與控制」、飛彈的「終端導引」，亦即幾乎可以精準擊中目標的武器。如果戰爭的未來變成一場精準度的競賽，那蘇聯就會落後了。

由於運算力的微型化，裴瑞知道馬歇爾對戰爭未來的想像很快就有

可能實現。他在自家公司的設備中用過英特爾的晶片，很熟悉矽谷的半導體創新。越戰中使用的許多武器系統依然採用真空管，但最新的手持計算機裡的晶片運算力遠比老式的麻雀飛彈強多了。裴瑞相信，把那些晶片放在飛彈上，美國的軍力就會領先蘇聯。

他認為，導引飛彈不僅會「抵銷」蘇聯的數量優勢，還會迫使蘇聯採取代價高昂的反飛彈措施來回應。裴瑞計算，蘇聯需要花5到10年的時間以及300億到[5]500億美元的資金，才能防禦美國軍方打算部署的3000枚巡弋飛彈。而且即便蘇聯做到了，如果所有飛彈都對準蘇聯發射，蘇聯也只能摧毀其中一半。

這正是馬歇爾一直在尋找的技術。裴瑞與馬歇爾跟卡特總統的國防部長哈羅德．布朗（Harold Brown）合作，一起鼓吹國防部大力投資新技術：使用積體電路、而不是真空管的新一代導引飛彈；可以把位置座標傳到地球上任一點的衛星群；以及最重要的是，要啟動下一代晶片的研發計畫，確保美國維持其技術優勢。

在裴瑞的領導下，國防部在新的武器系統上投入大量資金，要充分利用美國在微電子方面的優勢。像鋪路雷射導引炸彈之類的精準武器項目就獲得了推廣。此外，從巡弋飛彈到炮兵飛彈等所有類型的導引飛彈也是如此。隨著微型運算力的應用，感測器與通信技術也開始突飛猛進。例如，偵查敵方的潛艇，主要需要開發精準的感測器，並透過愈來愈複雜的演算法來執行感應器收集的資訊。軍方的聲學專家認為，只要有足夠的處理力，就有可能從數英里外[6]區分鯨魚與潛艇。

導引武器變得愈來愈複雜。像戰斧巡弋飛彈（Tomahawk missile）[7]這樣的新系統，就需要仰賴遠比鋪路雷射導引炸彈還要複雜的導引系統，使用雷達高度計掃描地面，然後與預先載入導彈電腦中的地形互相比對。這樣一來，導彈就算偏離航道也可以重新定向。這類導引技術在

幾十年前就已經有人提出理論，但直到強大的晶片小到可以裝進巡弋飛彈中，才終於實現。

個別的導引武器是一項強大的創新，但如果它們能夠共用資訊，影響力將會更大。裴瑞委託國防部的國防先進研究專案局（DARPA）展開一項特別計畫：如果把這些新型感測器、導引武器、通信設備都整合在一起，會發生什麼事。這項計畫名為[8]「突擊破壞者」（Assault　Breaker），他們想像一種可以識別敵人目標並向地面處理中心提供位置資訊的空中雷達，地面處理中心接著會整合雷達的資料與來自其他感測器的資訊。陸基飛彈（ground-based missile）將可以透過與空中雷達通訊，把飛彈導向目標。在降落過程中，飛彈可以釋放能各自瞄準目標的子彈藥（submunitions）。

導引武器正逐漸式微，取而代之的是自動化戰爭的願景，運算力以過去無法想像的方式分配到各個系統。誠如1981年裴瑞受訪時所說，這個目標有可能實現，是因為美國正朝著「把晶片密度提高10到100倍」的方向發展，確保運算力的成長。「我們將可以把10年前還占滿整個房間的電腦，放在一個晶片上」，並「在各個層面都[9]部署『智慧型』武器」。

裴瑞的願景，與矽谷製造出來的所有創新一樣具顛覆性。國防部真的能落實高科技計畫嗎？1981年，隨著卡特總統任期結束，裴瑞跟著卸任，當時記者與國會議員都在抨擊他在精準打擊上押的賭注。1983年，一位專欄作家問道：「巡弋飛彈究竟是神奇武器、還是廢物？」另一位專欄作家把裴瑞主張的先進技術視同[10]「耍花樣」，並指出那些看似「智慧」的武器經常故障，而且殺傷率出奇的低，就像真空管驅動的麻雀飛彈一樣。

對許多批評者來說，裴瑞的願景需要的運算力進展，就像科幻小說。他們認為導引飛彈的技術只會緩慢地進步，畢竟坦克與飛機的變換也很慢。摩爾定律所說的指數型成長不僅罕見，也難以理解。然而，裴

瑞並不是唯一預測會有「10到100倍」進步的人。英特爾也向客戶提出同樣的承諾。裴瑞抱怨道，那些批評他的國會議員是[11]「老古板」，根本不懂晶片進化的速度有多快。

即使在裴瑞卸任後，國防部仍持續把大量的資金投入先進晶片，以及那些晶片驅動的軍事系統。馬歇爾繼續在國防部任職，他已經在夢想這些次世代的晶片可能驅動哪些新系統了。半導體工程師能實現裴瑞所承諾的進展嗎？摩爾定律預言他們可以做到，但這只是預測，不是保證。此外，與積體電路剛發明時不同的是，晶片業變得不那麼專注於軍事生產。像英特爾這樣的公司鎖定的是企業電腦與消費性產品，不是飛彈。只有消費市場有足夠的需求量去資助讓摩爾定律得以延續的龐大研發專案。

1960年代初期，大家還有可能聲稱國防部創造了矽谷。但此後的10年間，形勢逆轉了。美軍在越戰中失敗，但晶片業贏得了隨後的和平，並透過迅速擴大的投資連結與供應鏈，把新加坡到台灣、再到日本的亞洲其他國家，與美國更緊密地綁在一起。整個世界與美國的創新基礎建設更緊密地相連，連蘇聯這樣的對手也要花時間去抄襲美國的晶片與晶片製造機台。與此同時，晶片業催生了一系列新的武器系統，重塑了美軍的作戰方式。美國的實力獲得了改造，現在整個國家都有賴矽谷的成功。

▲ 蘇聯KGB間諜巴爾與沙蘭特都在紐約成長，他們叛逃到蘇聯，協助蘇聯建立電腦業。儘管蘇聯竊取了資訊，但依然無法獲得優勢。（Barr Papers/Steven Usdin）

▲ 遍布亞洲的美國半導體組裝廠，為美國的盟友提供了成千上萬個就業機會。圖為1972年，在馬來西亞檳城英特爾工廠內工作的婦女。英特爾解釋：「這些作業員大多是女性，因為她們在靈巧度測試中表現較好。」（Intel）

▲ 德儀的第一份主要晶片訂單，是為義勇兵二型導彈（如圖所示）上的導引電腦所設計的晶片。（Dave Fields）

▲ 在德儀，沃德使用微電子製造出第一枚雷射導引炸彈。那種炸彈第一次上戰場，是用來擊垮越南的一座橋。之前美軍曾針對那座橋發射了數百枚「非智慧型」的炸彈，都沒有擊中目標。（Mark Perlstein/Getty Images）

*1 「淨評估」（Net Assessment）原是一套軍事能力分析技術，但隨著歷史的演變，舉凡科技、政治、經濟、社會等足以影響到國家安全的因素，都是淨評估分析的目標。

第三部

喪失領導地位？

15

競爭激烈

「自從你寫了那篇報告以後，我的日子簡直[1]跟地獄沒兩樣！」一位晶片業務員向惠普（HP）的高層理查．安德森（Richard Anderson）抱怨。安德森是負責決定哪些晶片符合惠普嚴格標準的人。對美國整個半導體業來說，1980年代是地獄般的十年。矽谷本來以為自己高居世界科技業的頂端，但在歷經20年的快速成長之後面臨到生存危機：來自日本的激烈競爭。1980年3月25日，安德森前往華盛頓歷史悠久的五月花飯店（Mayflower Hotel）參加產業大會。他登台致詞時，現場觀眾都洗耳恭聽，因為每個人都想把晶片賣給他。他任職的惠普公司在1930年代發明了矽谷新創企業的概念，當時史丹佛大學的畢業生戴夫．普克德（Dave Packard）與比爾．惠利特（Bill Hewlett）開始在帕羅奧圖的車庫裡研發電子設備。現在，惠普已是美國最大的科技公司之一，也是最大的半導體買家之一。

安德森對每款晶片的評價，可以左右任何半導體公司的命運，但矽谷的業務員從來不准請他喝酒或吃大餐。他不好意思地坦承：「有時我還是會讓他們帶我出去吃午餐。」但整個矽谷都知道，幾乎每個人的最重要客戶都是由他把關。他的工作讓他對半導體業有全面的瞭解，包括每家公司的運作績效。

除了英特爾、德儀等美國公司，東芝（Toshiba）、NEC等日本公司現在也製造DRAM記憶體晶片——雖然矽谷的人大多沒認真看待這些公司。美國的晶片製造商是由發明高科技的人所經營的。他們開玩笑說，

日本是
2
「咖嚓、咖嚓」國度，這是指日本工程師帶相機去晶片大會拍照，想抄襲美方概念時所發出的聲音。美國的主要晶片製造商都對日本的競爭對手提出了智慧財產權訴訟，他們視此現象為矽谷仍遙遙領先的證據。

然而在惠普，安德森不單只是認真看待東芝與NEC而已，他還測試他們的晶片，而且認為他們的晶片品質遠比美國的競爭對手要好。他指出，三家日本公司中，沒有一家的晶片在最初1000小時的使用中，故障率超過0.02%。相對的，三家美國公司的最低故障率是0.09%，這表示美製晶片的故障比例是日製晶片的4.5倍。品質最差的美製晶片故障率是0.26%，是日製晶片故障率的
3
10倍以上。既然美製DRAM晶片的效能一樣，成本一樣，但故障率卻高出許多，那大家何必買美製晶片呢？

晶片不是唯一面臨優質、超高效率日本競爭對手的美國產業。在戰後的那幾年，「日本製」一直是「廉價低劣」的代名詞。但是像盛田昭夫那樣的企業家甩開了這種低價的名聲，提供媲美美國競爭對手的優質產品。盛田昭夫的電晶體收音機是第一個挑戰美國經濟霸主地位的傑出挑戰者，這個產品的熱賣鼓舞了盛田昭夫與日本企業，讓他們把目光放得更高更遠。從汽車業到鋼鐵業，美國的各行產業都面臨日本的激烈競爭。

1980年代，消費電子產品已經成為日本的專長，其中又以索尼帶頭推出新的消費品，從美國的競爭對手那裡奪取了市占率。起初，日本公司靠著模仿美國競爭對手的產品，並以更高的品質與更低的價格來製造產品，藉此打敗對手。有日本人開始宣傳一種觀念：日本人擅長實踐，美國人擅長創新。一名日本記者寫道：「我們沒有諾伊斯博士或蕭克利博士。」儘管日本已經開始累積諾貝爾獎得主了。然而，知名的日本人仍持續輕描淡寫日本的科學成就，尤其是對美國觀眾講話的時候。菊池誠是索尼的研究主管，也是著名的物理學家，他曾對美國記者說，日本的天才比美國少，美國有「傑出的精英」。但菊池誠認為，美國也有

「智力低於正常水準」的人所組成的[4]「長尾」，這解釋了日本為什麼比較擅長量產。

美國的晶片製造商深信，菊池誠對美國創新優勢的看法是正確的，儘管與之矛盾的資料愈來愈多。關於「日本人擅長實踐，美國人擅長創新」這種說法，最有力的反證就是菊池誠的老闆，也就是索尼的執行長盛田昭夫。盛田昭夫知道，模仿只會造就二流地位與二流利潤。他鼓勵工程師不僅要製造最好的收音機與電視，更要想像全新的產品類型。

1979年，就在安德森簡報美國晶片有品質問題的幾個月前，索尼推出徹底改變音樂產業的隨身聽（Walkman），每台隨身聽都內建五個該公司[5]最先進的積體電路。突然間，全世界的青少年都可以把最喜歡的音樂放進口袋，啟動那台裝置的積體電路是由矽谷率先研發，但是由日本發展出來的。索尼在全球售出[6]3.85億台隨身聽，使隨身聽成為史上最熱賣的消費性裝置之一。這可說是最純粹的創新，而且是日本製。

美國曾支持日本在戰後轉型為電晶體推銷員。美國占領日本期間，把電晶體發明的知識轉移給日本的物理學家，而美國本土的政策制定者則是確保索尼等日本公司能夠輕鬆地把產品銷往美國市場。美國的目的是把日本變成民主的資本主義國家，這個策略的確奏效了。但現在開始有美國人反問，這個策略是不是運作得太好了。讓日本企業有能力自立自強的策略，似乎正在削弱美國的經濟與技術優勢。

斯波克覺得，日本的生產力既令人著迷，也令人恐懼。斯波克以前管理奇異的生產線時，他的肖像曾被焚燬。他在加入快捷後開始踏入晶片業，後來離開快捷去接掌國家半導體公司，當時那是一家大型的記憶體晶片生產商。超高效率的日本競爭者似乎會讓他的公司經營不下去。斯波克以擅長從裝配線工人的身上榨取更多的效率著稱，但日本的生產水準遠遠超越了他的工人所能達到的程度。

斯波克派遣一名工頭及一群裝配線的工人去日本幾個月，參觀當地的半導體廠。他們回加州後，斯波克把他們的經歷拍成了一支影片。他們說，日本工人「出奇地支持公司」，「工頭把公司看得比家人還重要」。日本的老闆不必擔心自己的肖像被拿去燒。斯波克說，那是一個「精彩的故事，我們所有的員工都可以看到[7]競爭有多激烈。」

16

與日本開戰

「我不想假裝自己是在打一場公平的架，」超微半導體（AMD）執行長傑瑞．桑德斯（Jerry Sanders）抱怨道，「我不是。」桑德斯很會打架，他在芝加哥的南區長大，18歲時差點在一場鬥毆中喪命。有人在垃圾桶中發現他奄奄一息，牧師還為他舉行了最後儀式，但三天後他奇跡般地從昏迷中甦醒。後來，他在快捷半導體找到銷售與行銷的工作。在諾伊斯、摩爾、葛洛夫離開快捷去創立英特爾以前曾與他們共事。桑德斯的同事大多是樸素的工程師，但他愛戴名錶，開名車。一位同事回憶道，桑德斯住南加州，每週開車到矽谷上班，因為他與妻子覺得只有貝萊爾（Bel Air，洛杉磯最富裕的地區）才真正有家的感覺。1969年創立晶片公司AMD以後，接下來的30年間，他幾乎都為了智慧財產權的糾紛與英特爾纏訟不休。他對一名記者坦言：「我就是[1]無法中途放棄搏鬥。」

「晶片業是競爭極其激烈的產業，」曾領導晶片組裝外移到亞洲的高階主管斯波克回憶道，「面對競爭對手，你[2]必須擊倒、奮戰、宰了對方。」斯波克一邊把兩個拳頭碰在一起，說明他的意思。美國晶片製造商之間彼此爭奪面子、專利與數百萬美元，往往變成私人恩怨，但整個產業仍有很大的成長空間讓大家生存。日本的競爭對手卻不一樣。斯波克認為，如果日立、富士通、東芝、NEC成功了，他們會把整個產業搬到太平洋的另一邊。「我在奇異時，負責電視生產那一塊，」斯波克警告說，「你現在開車經過那家工廠，那裡還是空的……我們很清楚危機所在，絕不會讓那種事發生在我們身上。」工作、財富、功績、自尊，一切都岌岌可危。「我們是與日本開戰，」斯波克說道，「不是用槍砲彈藥，而是一場[3]

技術、生產力、品質的經濟戰。」

斯波克認為矽谷的內部鬥爭是公平之爭，但他認為日本的DRAM公司是靠竊取智慧財產權、保護市場、政府補貼、廉價資本來占便宜。斯波克對商業間諜的看法是有道理的。1981年11月一個寒冷的清晨5點，在康乃狄克州哈特福（Hartford）的一家飯店大廳，日立公司的員工成瀨淳交出一個裝滿現金的信封，換取Glenmar公司的「顧問」所給的徽章，Glenmar公司承諾幫日立取得商業機密。成瀨純拿著那個徽章，就可以進入飛機製造商普惠公司（Pratt & Whitney）的祕密設施拍攝該公司剛安裝的最新電腦[*1]。

拍完照後，成瀨淳在美國西岸的同事林建治發信給Glenmar公司，提議簽訂「諮詢服務合約」。日立的高層授權向Glenmar支付50萬美元，以維持合作關係。但Glenmar其實是一家幌子公司，員工是美國聯邦調查局的特務喬裝的。[4]日立的員工遭到逮捕，新聞登上《紐約時報》的商業頭版後，日立的發言人面有難色地承認：「看來日立落入圈套了。」

日立並非特例，三菱電機（Mitsubishi Electric）也面臨類似的指控。日本商業間諜與兩面詐欺手法等指控不止出現在半導體與電腦領域而已。日本工業集團東芝在1980年代中期已是世界領先的DRAM生產商，他們花了數年的時間對抗一項後來證明為實的指控：東芝向蘇聯出售機器，幫蘇聯[5]建造更安靜的潛艇。東芝和蘇聯的潛艇交易，與東芝的半導體業務之間沒有直接關連，但許多美國人把潛艇案視為日本卑劣手段的[6]進一步證據。記錄在案的日本非法商業間諜案很少，但這究竟是表示竊取機密對日本企業的成功來說幫助很小呢？還是證明日本企業很擅長竊取機密，所以被逮到的不多？

潛入競爭對手的設施是非法的，但密切注意競爭對手是矽谷的日

常。此外，指責競爭對手挖角、竊取概念與智慧財產權也很常見。畢竟，美國的晶片製造商一直互相告來告去。例如，快捷與德儀打了10年的訴訟才解決積體電路究竟是諾伊斯發明的、還是基爾比發明的問題。晶片公司也常挖走競爭對手的資深工程師，希望獲得經驗豐富的人才，同時瞭解競爭對手的生產流程。諾伊斯與摩爾離開蕭克利半導體公司，創立了快捷，後來又離開快捷去創立英特爾。他們在英特爾雇用了數十名快捷的員工，包括葛洛夫。快捷曾考慮提告，但後來判斷不太可能告贏那些打造晶片業的天才而作罷。追蹤及模仿競爭對手，是矽谷商業模式的關鍵。日本的策略難道有什麼不同嗎？

斯波克與桑德斯指出，日本公司因國內市場受到保護而受益。日本公司可以向美國銷售產品，但矽谷很難在日本搶得市占率。1974年以前，日本一直對美國公司可在日本銷售的晶片數量實施配額限制。即使後來配額限制取消了，日本公司從矽谷購買的晶片仍然很少，儘管日本購買的半導體數量占全球總量的四分之一。索尼等公司把購買的半導體內建到電視與錄影機等產品中，再銷往全球。一些大型的日本晶片買家，例如有獨占性質的國家電信事業NTT，幾乎只從日本的供應商進貨。這表面上是商業決定，但NTT是國營企業，所以這也涉及政治因素。矽谷在日本的低市占率，使美國公司喪失了[7]數十億美元的銷售額。

此外，日本政府也補貼日本的晶片製造商。在美國，反托拉斯法阻止晶片公司合作。日本與美國不同，日本政府會推動公司合作，並在1976年成立一個研究聯盟，名叫超大型積體電路計畫（VLSI Program），由政府資助[8]約一半的預算。美國的晶片製造商以此作為日本不公平競爭的證據，雖然VLSI計畫每年在研發上的支出約7,200萬美元，大約與德儀的研發預算相當，比摩托羅拉的研發預算還少。況且，美國政府自己也深入支持半導體業，只不過美國政府的資助是採DARPA補助金的形式（DARPA是國防部的一個單位，負責投資高風險技術，在資助晶片創新方面扮演關鍵要角）。

桑德斯認為矽谷最大的劣勢是高昂的資金成本。他抱怨日本人「為資本支付6%，或許7%的成本。我最好的時候，[9]至少也要付出18%。」建造先進的製造設施，成本高得驚人，因此信貸成本極其重要。下一代晶片約每兩年就會出現，需要新的設施與新的機台。1980年代，由於美國的聯準會試圖打擊通膨，美國的利率高達21.5%。

相對的，日本DRAM公司獲得的資金就便宜多了。日立、三菱等晶片製造商都隸屬於大型企業集團，與銀行關係密切，銀行會提供他們大額的長期貸款。即使日本公司沒有獲利，他們的銀行也會繼續提供他們信用額度，讓他們維持生存。要是換成美國銀行，那些日本公司[10]早就被逼到破產了。日本社會本來就習慣大量儲蓄，因為戰後的嬰兒潮以及迅速轉變為獨生子女的小家庭，造就了大量專注為退休儲蓄的中年家庭。日本薄弱的社會保障系統，又進一步刺激民眾多儲蓄。與此同時，股市與其他投資標的的嚴格限制，使民眾別無選擇，只能把儲蓄存入銀行帳戶。結果是，銀行有充裕的存款，就能以低利率放貸，因為銀行手頭上的現金太多了。日本公司的債務比美國公司還多，[11]借款利率卻比較低。

日本公司憑著這些廉價資金，拼命爭搶市占率。雖然一些美國分析師為東芝、富士通等日商勾勒出合作的形象，但它們之間的競爭也一樣激烈。由於幾乎可以獲得無限的銀行貸款，日商可以一直承受虧損，等待競爭對手宣告破產，退出市場。1980年代初期，日本公司在生產設備上的投資，比美國的競爭對手多60%，即便該產業的每家業者都面臨同樣激烈的競爭，幾乎沒有一家有多少獲利。日本的晶片製造商不斷地投資與生產，搶占愈來愈多的市占率。正因如此，在64K的DRAM晶片推出五年後，十年前率先推出DRAM晶片的英特爾公司在全球DRAM市場的市占率僅剩1.7%，而日本競爭對手的市占率則是[12]持續飆升。

隨著矽谷被擠出市場，日本公司在DRAM生產上加倍投入。1984年，日立在半導體事業上的資本支出是800億日元，對比10年前是15億日元。在東芝，資本支出從30億增至750億。在NEC，資本支出從35億增至1100億。1985年，日本公司在半導體上的資本支出，占全球資本支出的46%，而美國占35%。到了1990年，這兩個數字之間的落差更懸殊了，日本公司在晶片製造設施與設備方面的投資占全球投資的一半。只要日本銀行願意放貸，日本的執行長就會

13

繼續建造新的設施。

日本的晶片製造商聲稱這一切並沒有什麼不公平之處。美國的半導體公司獲得政府的大量幫助，尤其是國防合約的支持。況且，像惠普這樣的美國晶片買家也提出確鑿的證據，證明日本的晶片品質就是比較好。因此，1980年代，日本在DRAM晶片的市占率年年成長，而美國的競爭對手則是節節敗退。無論美國的晶片製造商提出什麼末日預言，日本半導體業者的強勢崛起似乎勢不可擋。不久，整個矽谷都被遺棄，就像十幾歲的桑德斯被扔在南區的垃圾桶裡一樣，奄奄一息。

*1 普惠公司是最先安裝IBM 3380電腦的公司。

17

「出產垃圾」

隨著日本巨擘橫掃美國的高科技業，陷入困境的不單只有生產DRAM晶片的公司而已，他們的許多供應商也跟著受困。1981年，GCA公司被譽為美國

[1]

「最炙手可熱的高科技公司」之一，靠著銷售讓摩爾定律得以延續的設備而迅速發展。二十年前，物理學家萊斯羅普首次把顯微鏡顛倒過來，讓光照在光阻劑上、把圖案「轉印」到半導體晶圓，在那之後，微影成像製程變得複雜許多。早期，諾伊斯必須開著他的破舊老爺車

[2]

在加州101號公路上往返，為快捷臨時打造的微影成像設備尋找攝影鏡頭，那種克難的日子早已不復見。現在，微影成像是一門大生意，而GCA在1980年代初期是這方面的頂尖業者。

微影成像技術已經比萊斯羅普把顯微鏡顛倒過來的時代精確很多，但原理還是一樣的。光照過光罩與透鏡，把聚焦的形狀投射到覆蓋著光阻劑的矽晶圓上。在光照到的部分，光阻劑會與光發生反應，變得很容易溶解、暴露出矽晶圓表面的微小凹洞。接著，把新材料注入這些洞中，在矽晶圓上建立電路，再以特殊的化學物質侵蝕剩餘的光阻劑，留下完美的形狀。製造一塊積體電路通常需要5次、10次或20次的微影成像、沉積、蝕刻、研磨，結果就像一個層次分明的幾何狀婚禮蛋糕那樣。隨著電晶體的縮小，微影成像製程的每個部分——從化學物質到透鏡，再到使矽晶圓與光源完美對準的雷射——都變得更加困難。

德國的蔡司（Carl Zeiss）與日本的Nikon是透鏡製造的領頭羊，不過美國也有一些專業的透鏡製造商。珀金埃爾默（Perkin Elmer）是康乃狄克州諾沃克（Norwalk）的一家小型製造商，二戰期間曾為美軍生產

[3]

投彈瞄準器，也為冷戰時期的衛星與偵察機生產鏡頭。該公司發現這項技術可以用於半導體的微影成像，並開發了一種晶片掃描器，以近乎完美的精準度，對齊矽晶圓與微影成像的光源。為了讓光精準地照在矽晶圓上，這點非常重要。這台機器就像影印機一樣，在晶片上移動光線，使覆蓋著光阻劑的晶圓曝光，彷彿是把光線塗上去一樣。珀金埃爾默的掃描器可以製造出寬度近一微米（百萬分之一米）的晶片。

珀金埃爾默的掃描器在1970年代末期稱霸微影成像市場，但是到了1980年代，它已經被GCA公司取代了。GCA是一家由空軍軍官出身的地球物理學家米爾特．格林伯格（Milt Greenberg）所領導的公司。格林伯格是個充滿野心的天才，個性固執，愛飆髒話。他與空軍夥伴在二戰後，用洛克菲勒家族的種子資金創立了GCA。身為軍事氣象學家，他把大氣相關知識及空軍的工作經驗，運用到國防承包商的工作上，生產高空氣球等設備，用於測量及[4]拍攝蘇聯的照片。

格林伯格的雄心壯志不久又提升了。半導體業的成長顯示，真正的獲利商機在大眾市場，而不是特殊軍事合約。格林伯格認為，GCA那些原本用於軍事偵察的高科技光學系統，也可以用在民用晶片上。在1970年代末期的一次產業大會上，GCA向晶片製造商宣傳其系統，德儀的張忠謀[5]走到GCA的展區，開始觀察該公司的設備，並詢問該公司的設備有沒有辦法做到逐步移動，讓矽晶圓上的每個晶片曝光，而不是讓光束掃過整個矽晶圓的長度。這種「步進曝光機」（stepper）將比現有的掃描器精確許多。雖然當時還沒有公司開發出步進曝光機這種東西，但GCA的工程師認為他們可以做出這種機器，提供解析度更高的成像，進而使電晶體變得更小。

幾年後的1978年，GCA推出[6]第一台步進曝光機，訂單開始湧入。在推出步進曝光機以前，GCA每年

從軍事合約獲得的收入從未超過5000萬美元，但現在它獨家生產這種價值非凡的機器，營收很快就飆破了3億美元，[7]連股價也跟著飆漲。

然而，隨著日本晶片業的崛起，GCA開始失去優勢。執行長格林伯格想像自己是商業大亨，但他花在經營上的時間變少了，反而比較常與政客接觸。他為一個大型新廠破土動工，深信1980年代初期的半導體榮景將無限期地持續下去。但結果是，成本失控，庫存管理嚴重失當。一名員工無意間發現價值上百萬美元的精密透鏡被遺忘在櫥櫃裡。公司裡也開始流傳高階主管刷公司信用卡買Corvette跑車的故事。GCA的一位創辦合夥人坦承，公司花錢就像「酒醉的水手」一樣[8]揮霍無度。

GCA內部的誇張行徑，又剛好發生在不對的時機。半導體業向來有明顯的週期性，需求強勁時，產業就會暴漲；需求不旺時，產業回落。不需要火箭科學家也知道（雖然GCA裡有好幾個），經過1980年代初期的產業榮景後，低迷終究會到來。但格林伯格選擇充耳不聞，一名員工回憶道：「他不想聽行銷部說：『市場將會出現低迷』。」所以1980年代中期的半導體進入低迷期時，GCA已經嚴重過度擴張。1984年至1986年間，全球微影成像設備的銷量萎縮了40%，GCA的收入更是暴跌了三分之二以上。一位員工回憶道：「如果公司裡有一位稱職的經濟學家，我們可能會預測到這點。偏偏公司裡沒有這種人，[9]我們只有格林伯格。」

就在市場低迷之際，GCA失去了獨家生產步進曝光機的地位。Nikon原本是GCA的合作夥伴，為其步進曝光機提供精密透鏡，但格林伯格決定排除Nikon，收購自己的透鏡製造商：總部位於紐約的Tropel。該公司為U2偵察機生產透鏡，但難以生產GCA所需的高品質透鏡。與此同時，GCA的客戶服務也愈來愈糟。一位分析師指出，該公司的態度是「你買我們製造的東西就好，但別來煩我們」。GCA的員工坦

承：「[10]客戶已經受夠了。」這是市場壟斷者的姿態，但GCA已經不再壟斷市場了。格林伯格停止採購Nikon的透鏡後，Nikon就決定自己製造步進曝光機。它從GCA買來一台機器，逆向拆解出製作方法。不久，Nikon的市占率就超越了GCA。

許多美國人把GCA失去微影成像的產業領導地位，歸咎於日本的產業補貼。日本的VLSI計畫除了支持日本的DRAM晶片生產商，確實也協助了Nikon等設備供應商。隨著美國與日本的公司互相指控對方政府提供不公平的協助，兩者之間的商業關係也開始動盪。但GCA的員工坦承，儘管他們有世界級的技術，量產卻很困難。精密製造非常重要，因為現在的微影成像技術非常精確，一場雷雨過境就可能改變氣壓，從而改變光線折射的角度，就足以扭曲[11]刻在晶片上的圖案。每年生產數百台步進曝光機，需要非常專注於製造與品管，偏偏GCA的領導人把注意力放在別處。

大家普遍把GCA的衰落解讀為日本崛起與美國衰落的寓言，但一些分析師看到製造業有更廣泛的衰退跡象。這種衰退是始於鋼鐵業，接著影響汽車業，現在正蔓延到高科技業。榮獲諾貝爾獎的麻省理工經濟學家羅伯特．索洛（Robert Solow）是研究生產力與經濟成長的先驅，他在1987年指出，晶片業受到「不穩定結構」的影響，員工在公司之間跳槽，公司又拒絕投資員工。著名經濟學家勞勃．萊許（Robert Reich）哀嘆矽谷的[12]「紙上興業主義」（paper entrepreneurialism）。他認為矽谷過於追求聲望與財富，而不是追求技術進步。他宣稱，在美國的大學裡，「科學與工程科系正在衰退。」

美國晶片製造商的DRAM災難，某種程度上也與GCA的市占率崩跌有關。贏過矽谷的日本DRAM公司比較喜歡向日本的工具製造商採購機台，使Nikon受惠，GCA受挫。然而，GCA的問題大多是自己造成的，

不可靠的設備，再加上糟糕的客服，導致業績節節下滑。學者是以複雜的理論來說明，日本的大型集團為何比美國的新創企業更擅長製造。但最根本的現實是，GCA並未聽取客戶的意見，而Nikon聽了。與GCA互動的晶片公司都覺得GCA「傲慢」且

13

「反應遲鈍」，沒有人這樣說過GCA的日本競爭對手。

因此，到了1980年代中期，Nikon的系統在任何情況下都已經遠比GCA的系統優異。Nikon的機器明顯良率更好，故障率低很多。例如，IBM改用Nikon的步進曝光機以前，希望每台機器在停機做調整或維修前能運作75個小時。Nikon的客戶連續使用機器的平均時間是

14

那個時數的10倍。

GCA的執行長格林伯格永遠不知道如何挽救公司。他被趕下台以前，始終不知道公司有多少問題是內部造成的。他搭機前往世界各地拉業務時，在頭等艙裡喝著血腥瑪麗，客戶卻覺得這家公司只會「出產垃圾」。員工抱怨，格林伯格只會看華爾街臉色，對股價的關注和對商業模式的關注一樣多。為了達到年終的數字，GCA會與客戶串通好，在12月先運一個裝有用戶手冊的空箱給客戶，隔年才真正出貨。然而，GCA根本無法掩蓋市占率不斷下滑的事實。1978年，以GCA為首的美國公司控制了全球半導體微影成像設備市場的85%。10年後，這個數字已降至50%，而且GCA也沒有

15

扭轉局勢的計畫。

格林伯格把矛頭指向自家員工，一位下屬回憶道：「他會飆罵很難聽的髒話。」另一位下屬想到公司曾禁止員工穿高跟鞋，因為格林伯格認為高跟鞋會破壞公司的地毯。隨著公司內部的緊張氣氛加劇，櫃台的總機小姐與同事設計了一套暗語：打開天花板的燈，就表示格林伯格在辦公室，他離開時就關燈。他不在辦公室時，大家可以

16

稍微鬆口氣，但這無法阻止這家美國微影成像的先驅迅速墜入危機。

18

1980年代的原油

帕羅奧圖一個寒冷的春夜，諾伊斯、桑德斯、斯波克聚在一間[1]屋頂如寶塔狀傾斜的屋子裡。明宮是矽谷午餐的主要選擇之一，但這幾位美國科技大亨不是為了這家餐廳出名的中式雞肉沙拉而來。他們三人的職涯都是從快捷半導體開始：諾伊斯是技術遠見家；桑德斯是銷售高手；斯波克是生產部門的老大，擅長逼員工以更快的速度製造出更好更便宜的東西。10年後，他們成了競爭對手，分別是美國三大晶片製造商的執行長。但隨著日本的市占率持續增加，他們認為再次團結起來的時候到了，這事關美國半導體業的未來。在明宮的包廂裡，他們圍坐在桌邊，規劃著拯救美國半導體業的新策略。在忽視政府長達10年後，他們開始向政府求助。

桑德斯宣稱，半導體是[2]「1980年代的原油」，「掌控原油的人，將掌控電子業」。身為美國主要晶片製造商AMD的執行長，桑德斯為自家主要產品賦予戰略重要性，當然有很多圖利自己的理由，但他這樣說難道有錯嗎？整個1980年代，隨著個人電腦變得愈來愈小，家用或商用電腦的價格變得夠便宜，使美國的電腦業迅速擴張。每家企業都開始依賴電腦，而電腦沒有積體電路就無法運作。到了1980年代，飛機、汽車、攝影機、微波爐，或索尼的隨身聽也要靠積體電路才能運作。這時，每個美國人的家中與汽車裡都有半導體，很多人每天都會用到幾十個晶片。就像石油一樣，大家的生活也離不開晶片。難道這不是讓晶片變得「有戰略意義」嗎？難道美國不該擔心日本正在變成[3]「半導體業的沙烏地阿拉伯」？

1973年與1979年的石油禁運，讓許多美國人意識到依賴外國生產

的風險。當阿拉伯國家為了懲罰美國支持以色列，開始削減石油出口時，美國經濟就陷入痛苦的衰退。10年的停滯性通貨膨脹與政治危機接踵而至。美國的外交政策開始把焦點放在波斯灣，以確保當地的石油供給。卡特總統宣布該區是「美國的緊要利益」之一。雷根總統派遣美國海軍去護送運油船進出波斯灣。老布希總統與伊拉克開戰，部分原因也是為了解放科威特的油田。當美國說石油是一種「戰略」商品時，它是以軍力來支持這個主張。

桑德斯並沒有要求美國派遣海軍橫跨半個地球去確保矽的供應，但政府難道不該想辦法幫助陷入苦戰的半導體公司嗎？1970年代，矽谷公司以民用電腦與計算機市場取代國防合約時，忽視了政府。到了1980年代，他們才拉下臉，回頭向政府求助。桑德斯、諾伊斯、斯波克在明宮聚會後，與其他公司的執行長一起創立了美國半導體協會（Semiconductor Industry Association），希望遊說政府支持半導體業。

當桑德斯把晶片描述為「原油」時，國防部完全明白他的意思。事實上，晶片甚至比石油更有戰略意義。國防部的官員非常清楚半導體對美國的軍事優勢有多重要。自1970年代中期裴瑞執掌國防部的研究與工程事務以來，使用半導體技術來抵銷冷戰中蘇聯的傳統優勢一直是美國的戰略。國防部要求美國的國防承包商在最新的飛機、坦克、火箭中，安裝愈多晶片愈好，才能提升導引、通訊、指揮控制的品質。在創造軍力方面，這個策略的效果，比裴瑞以外的任何人所想的還好。

只不過有個問題。裴瑞曾認為，諾伊斯與那些矽谷業者會繼續在業界維持領先地位。但1986年，日本生產的晶片量已超過美國。到了1980年代末期，日本供應的微影成像設備占全球總供應量的70%。在這個由萊斯羅普在美國的軍事實驗室裡發明的產業中，美國的市占率只剩21%。美國國防部的一名官員告訴《紐約時報》：「我們絕對不能失去微影成像的優勢，否則我們將會完全依賴海外製造商來製造我們

最敏感的東西。」但是，要是1980年代中期的趨勢持續下去，日本將會主導DRAM產業，迫使美國的主要生產商倒閉。美國可能會發現，美國

對外國晶片與半導體製造設備的依賴程度，甚至比阿拉伯禁運最嚴重的時期，美國對石油的依賴還大。突然間，日本對其晶片業的補貼（大家普遍認為這是英特爾、GCA等美國公司受創的原因）似乎成了國安問題。

國防部請基爾比、諾伊斯與其他的業界名人提交一份報告，說明如何重振美國的半導體業。諾伊斯與基爾比在華盛頓的郊區花了幾個小時腦力激盪，與國防業的專家及國防部的官員合作。基爾比長期以來一直與國防部密切合作，因為德儀是武器系統的主要電子供應商。IBM與貝爾實驗室也與政府有深厚的關係。然而，誠如一位國防部官員所說的，英特爾的領導人之前把自己塑造成

5

「不需要任何人幫忙的矽谷牛仔」。如今諾伊斯願意把時間花在國防部上，可見半導體業面臨的威脅有多嚴重，以及這對美國軍方的影響有多可怕。

美國軍方比以往更依賴電子產品，因此也更依賴晶片。那份報告發現，到了1980年代，約17%的軍事支出是用於電子設備。相較之下，二戰結束時該比例只有6%。從衛星到預警雷達，再到自動導向飛彈，所有的東西都依賴先進的晶片。國防部的任務小組歸納出以下

6

四個關鍵結論：

．美軍非常依賴技術優勢取勝。
．電子技術是最能充分利用的技術。
．半導體是在電子業掌握領導地位的關鍵。
．美國的國防很快就會依賴外國來源，提供最先進的半導體技術。

當然，日本是冷戰時期的正式盟友——至少當下是如此。二戰結束後美國占領日本時，制定了日本憲法，使軍國主義不可能復甦。不過，1951年兩國簽署共同防禦條約後，美國開始謹慎地鼓勵日本重整軍備，

尋求日本在軍事上一起對抗蘇聯。日本同意了，但把軍事支出限制在日本GDP的1％左右。這樣做是為了安撫日本的鄰國，因為他們對日本戰時的擴張主義記憶猶新。不過，由於日本沒有大舉投資武器，它有更多的資金可以投資在其他地方。美國的國防開支是其經濟規模的五到十倍。日本專注於經濟成長，而美國則承擔了捍衛日本的重責大任。

結果比任何人預期的還驚人。日本這個曾經被嘲笑為「電晶體推銷員」的國度，如今已是世界第二大經濟體，而且在攸關美國軍力的領域，挑戰美國的工業主導地位。長久以來，美國鼓勵日本擴大對外貿易，放手讓美國去遏制共產黨，但這種分工方式似乎對美國不再有利了。日本的經濟以前所未有的速度成長，日本在高科技製造業的成就，如今正威脅著美國的軍事優勢。日本的進步出乎所有人意料。斯波克對國防部表示：「你不希望看到電視業與相機業發生的慘劇，也出現在半導體業。

[7]

沒有半導體，你將寸步難行。」

19
死亡螺旋

「我們陷入了死亡螺旋，」1986年，諾伊斯對一位記者說：「你說得出美國在哪個領域[1]沒有落後嗎？」在他比較悲觀的時刻，諾伊斯甚至懷疑矽谷最終會不會像底特律那樣，在外國競爭的衝擊下，眼睜睜地看著旗艦產業萎縮。矽谷與政府之間的關係有如精神分裂，一方面要求政府別來干涉，另一方面又向政府求助，而諾伊斯本人就是這種矛盾的例證。他早年經營快捷時，盡量避開國防部的官僚，但同時也因冷戰時期的太空競賽而受惠。現在他認為政府需要幫助半導體業，卻依然擔心政府阻礙創新。1980年代與阿波羅計畫的時代已經不同了，逾90%的半導體是企業與消費者購買的，[2]而不是軍方。這時國防部已經很難塑造這個產業，因為國防部不再是矽谷最重要的客戶。

此外，關於矽谷是否值得政府協助，政府內部也沒有共識。畢竟，從汽車業到鋼鐵業，許多產業都受到日本競爭的影響。晶片業與國防部主張，半導體有「戰略意義」。但許多經濟學家認為「戰略意義」並沒有很清楚的定義。難道半導體比噴射引擎更有「戰略意義」嗎？比工業機器人更有戰略意義嗎？雷根政府內一位經濟學家所提出的質問被廣泛的引用：「薯片和晶片有什麼區別？（英文都是chips），百元薯片或百元晶片，[3]都是一百美元啊。」這位經濟學家否認曾把馬鈴薯與矽相提並論，但他的觀點也不無道理。如果日本公司能以更低的價格生產DRAM晶片，或許美國直接購買那些晶片可以節省成本，還比較划算。果真如此的話，美國的電腦會因此變得更便宜，電腦業可能進步得更快。

究竟要不要支持半導體業，是由華盛頓的遊說決定。矽谷與自由市場經濟學家一致認同的一個議題是稅制。諾伊斯在國會作證時，支持把資本利得稅從49%降至28%，並主張放鬆金融監管，讓退休基金

4

投資創投公司。這些改變落實以後，大量資金湧入位於帕羅奧圖沙丘路（Sand Hill Road）上的創投公司。接著，英特爾的葛洛夫等矽谷高階主管向國會作證時宣稱，日本公司的合法抄襲正削弱美國的市場地位。於是，國會通過了〈半導體晶片保護法〉（Semiconductor Chip Protection Act），加強智慧財產權的保護。

然而，隨著日本DRAM市占率的成長，光是減稅及加強智慧財產權的保護似乎還不夠。國防部不願把國防工業的基礎押在智慧財產權的未來影響上。矽谷的執行長於是遊說政府提供更多協助。諾伊斯估計，整個1980年代，他有一半的時間是在華盛頓度過。桑德斯抨擊日本推行的「補貼及產業培育，鎖定與保護市場」。他宣稱：「日本補貼的金額高達數十億美元。」即使後來美國與日本達成取消半導體貿易關稅的協定，矽谷還是很難把晶片賣給日本。貿易談判代表以「剝洋蔥」來比喻他們與日本的談判。一位美國的貿易談判代表表示：「整個過程有如一場禪宗的洗禮。」討論最後是以類似「究竟什麼是洋蔥？」這樣充滿哲理的問題告終。美國對日本的DRAM銷售

5

幾乎毫無變化。

在國防部的敦促與半導體業的遊說下，雷根政府最終決定採取行動。連雷根總統的國務卿喬治．舒茲（George Shultz）這樣的前自由貿易者也認為，只有在美國威脅徵收關稅之下，日本才會開放市場。美國晶片業對日本公司在美國市場「傾銷」廉價晶片，提出了連串的正式控訴。美方宣稱日本公司以低於生產成本的價格銷售產品，但這種說法很難證實。美國公司舉「日本競爭對手的資金成本很低」為證，但日本回應，日本經濟的整體利率本來就普遍較低，不是只有半導體業而已。雙方各執一詞，各有道理。

1986年，隨著關稅威脅的迫近，美國與日本達成一項協定。日本政

府同意對其DRAM晶片的出口實施配額，限制日本向美國出售的晶片數量。由於供給減少，該協議推高了日本以外地區DRAM晶片的價格，損害了美國電腦廠商的利益，因為美國電腦廠商可說是日本晶片的最大買家。更高的價格其實對日本生產商有利，他們繼續

6

主導著DRAM市場。多數美國的晶片生產商已開始逐步退出記憶體晶片市場。因此，儘管達成了貿易協定，只有少數幾家美國公司繼續生產DRAM晶片。這些貿易限制使科技業內的獲利重新分配，但無法拯救美國多數的記憶體晶片公司。

國會試了最後一種援助方法。矽谷的抱怨之一是，日本政府幫企業協調研發，並為此提供資金。美國高科技業的許多人認為，美國政府也應該仿效這些計策。於是，1987年，一群領先的晶片製造商與國防部一起成立

7

半導體製造技術聯盟（Sematech），一半的資金是來自業界，另一半的資金是來自國防部。

半導體製造技術聯盟的成立理念是，這個產業需要更多的合作來維持競爭力。晶片製造商需要更好的製造設備，而生產這種設備的公司需要知道晶片製造商想要什麼。設備公司的執行長抱怨：「像德儀、摩托羅拉、IBM這樣的公司，就是不肯公開他們的技術。」在不瞭解這些公司採用什麼技術之下，根本不可能賣產品給它們。晶片製造商則是反過來抱怨他們採用的機器不可靠。一位員工估計，1980年代末期，英特爾的設備扣除保養與維修，實際上

8

只有30%的時間在運行。

諾伊斯自告奮勇擔任半導體製造技術聯盟的領導者。他其實已經從英特爾退休，10年前就把控制權交給摩爾與葛洛夫。身為積體電路的共同發明者及美國兩家最成功新創企業的創辦人，他擁有業內最好的技術與商業資歷，還有無人能及的個人魅力與矽谷人脈。如果真的有人能夠

重振晶片業，那就是普遍公認創造這個產業的人了。

在諾伊斯的領導下，半導體製造技術聯盟是一個奇怪的混合體，既不是一家公司，也不是一所大學或研究實驗室。沒有人確切知道它究竟該做什麼。諾伊斯一開始先幫助GCA等設備製造商，這些業者大多擁有強大的技術，但難以建立持久的事業或有效的製程。半導體製造技術聯盟規劃了一些有關可靠性與良好管理技巧的

9

研討會，提供類似迷你MBA的課程。它也開始在設備公司與晶片製造商之間協調生產計畫。如果微影成像或沉積設備還沒準備好，晶片製造商就沒必要準備新一代的晶片製造技術。除非晶片製造商已經準備好使用新機器，否則設備公司並不想推出新機器。半導體製造技術聯盟幫他們把生產計畫調成一致。這樣的市場不算是自由市場，但日本的大公司特別擅長做這類協調。總之，矽谷還有別的選擇嗎？

不過，諾伊斯把焦點放在拯救美國的微影成像業。半導體製造技術聯盟的51％資金是流向美國的微影成像公司。諾伊斯簡單地解釋了其中的邏輯：微影成像技術之所以獲得一半的資金，是因為它是晶片業面臨的

10

「一半問題」。沒有微影成像設備，就不可能製造半導體，但如今美國僅存的主要生產商都營運困難，難以生存。美國可能很快就會依賴外國的設備。1989年，諾伊斯在國會作證時宣稱：「大家對半導體製造技術聯盟的評判，很大程度上是看它在拯救美國步進曝光機的廠商方面，成效如何。」

這正是陷入困境的麻州微影成像設備製造商GCA的員工所希望聽到的。GCA發明步進曝光機後，五年的管理不善與運氣不佳使它淪為業界無足輕重的小業者，遠遠落後於日本的Nikon與Canon，以及荷蘭的ASML。但是當GCA的總裁彼得．西蒙（Peter　Simone）打電話給諾伊斯，討論半導體製造技術聯盟是否能幫助GCA時，諾伊斯直接告訴他：「

11

你已經完了。」

晶片業裡幾乎沒有人知道GCA要怎麼重振旗鼓。諾伊斯創立的英特爾非常依賴Nikon，而Nikon正是GCA的主要日本競爭對手。西蒙提議：「你何不來一天呢？」他希望能說服諾伊斯相信，GCA依然可以生產先進的機器。諾伊斯答應了，他抵達麻州時，當天就決定購買價值1300萬美元的GCA最新設備，作為「與美國的晶片製造商分享美製半導體設備」這項計畫的一部分，也鼓勵美國的晶片製造商購買更多的[12]國產設備。

半導體製造技術聯盟在GCA上押了很大的賭注，給予GCA生產深紫外線微影成像設備的合約（當時業界最先進的技術）。GCA的表現遠超出預期，沒有辜負其早期以技術卓越著稱的聲譽。不久，獨立的產業分析師把GCA的最新步進曝光機評為「全球最佳」。GCA甚至獲得了客戶服務獎，擺脫了客服平庸的名聲。GCA機器所使用的軟體，遠比日本競爭對手好。德儀一位測試過GCA最新機器的微影成像專家回憶道：「他們的技術[13]走在時代的尖端。」

但GCA依然沒有一個可行的商業模式。「走在時代的尖端」對科學家來說是好事，對尋求業績的製造公司來說卻不見得。客戶已經習慣來自Nikon、Canon、ASML等競爭對手的設備，不想冒險向一家未來不確定的公司購買不熟悉的新設備。萬一GCA破產，客戶可能很難獲得備用的零組件。除非能說服一個大客戶與GCA簽署重要的合約，否則GCA依然會急速陷入崩解。儘管半導體製造技術聯盟為GCA提供了7000萬美元的支援，但GCA在1988年至1992年間虧損了3000萬美元。連諾伊斯也[14]無法說服英特爾放棄Nikon。

諾伊斯可說是半導體製造技術聯盟中最支持GCA的人，1990年，他在晨泳後不幸因心臟病發而過世。他創立了快捷與英特爾，發明了積體電路，並把支撐所有現代運算的DRAM晶片與微處理器加以商業化。然而，事實證明，微影成像技術面對諾伊斯的魔法，依然回天乏術。1993年，擁有GCA的通用訊號公司（General Signal）宣布將出售或關閉

GCA。隨著這個自訂的最後期限逐漸逼近，通用訊號公司遲遲找不到買家。已經為GCA資助數百萬美元的半導體製造技術聯盟也決定退出。GCA最後一次向政府求助時，政府高階的國安官員也考慮了美國的外交政策是否需要拯救GCA。他們最後的結論是，[15]

政府也無能為力。於是，GCA關閉大吉，出售設備，成為日本競爭對手擊敗的一長串公司之一。

20

一個可以說NO的日本

幾十年來，索尼的盛田昭夫靠著銷售電子產品給美國人，賺了數百萬美元。現在他開始在美國的朋友身上察覺[1]「某種傲慢」。1950年代，他開始向美國企業尋求電晶體技術的授權時，美國是世界科技的領導者。此後，美國面臨一次又一次的危機。慘烈的越戰、種族衝突、都市動盪、水門案的恥辱、長達十年的停滯性通膨、不斷擴大的貿易赤字，以及現在的工業低迷。每經歷一次新的衝擊，美國的吸引力就變得更黯淡。

1953年盛田昭夫第一次出國時，他覺得美國是一個「好像什麼都有」的國家。他點冰淇淋時，服務生送來的冰淇淋上插著一把小紙傘。服務生告訴他：「這是你們國家製造的。」他聽在耳裡，覺得那是一種丟臉的提醒，彷彿在提醒他日本有多落後[*1]。然而30年後，一切都變了。1950年代，盛田昭夫第一次造訪紐約時，紐約似乎很「迷人」，如今則變得又髒又亂，犯罪猖獗，破敗不堪。

與此同時，索尼已變成全球知名品牌。盛田昭夫改造了日本的國際形象，日本不再被視為冰淇淋上那個小裝飾的生產國，而是製造全球最高科技產品的國家。盛田昭夫的家族擁有索尼的大量股份，已經因此致富。他在華爾街及美國政府都有強大的人脈。他培養對紐約晚宴藝術的瞭解，就像日本人看待傳統茶道那樣一絲不苟。每次盛田昭夫待在紐約時，他都會在位於第82街與第五大道交叉口的自家寓所內，招待紐約的富人與名人。他的家就在大都會藝術博物館的對面。他的妻子盛田良子甚至寫了一本書，向日本讀者說明美國晚宴的習俗，書名是《待客之心》（*My Thoughts on Home Entertaining*）。（不鼓勵穿和服；「每個人都穿同樣的服裝時，和諧感更強烈。」）

盛田一家很注重娛樂，但他們的晚宴也是出於專業目的。隨著美日之間的商業局勢日益緊繃，盛田昭夫就像日本的非正式大使，向美國那些有能力左右當權者的人物說明日本的狀況。大衛．洛克菲勒[*2]（David Rockefeller）與他有私交。前國務卿亨利．季辛吉（Henry Kissinger）每次造訪日本都會與盛田昭夫共進晚餐。私募基金的巨擘皮特．彼得森（Pete Peterson）帶盛田昭夫去許多執行長最愛去的奧古斯塔高爾夫球俱樂部（Augusta National）時，他震驚地發現「盛田昭夫已經認識所有人了」。不僅如此，在奧古斯塔時，盛田昭夫還會分別與每位熟識共進晚餐。彼得森回憶道：「他待在這裡時，一天[2]肯定有十場飯局。」

盛田昭夫起初覺得，這些美國朋友所代表的權力與財富很誘人。然而，隨著美國踉蹌地經歷一場又一場的危機，季辛吉、彼得森等人周遭的光環開始消退。美國的體制失靈了，但日本的體制依然持續運轉。到了1980年代，盛田昭夫察覺美國經濟與社會都有深層的問題。長久以來，美國一直把自己視為日本的老師，但盛田昭夫認為，在貿易逆差持續增加及高科技業陷入危機之下，美國需要記取教訓。盛田昭夫指出，「美國一直忙著培養律師」，而日本則是「忙著培養工程師」。此外，美國的高階主管過於關注「今年的獲利」，而日本的管理高層比較「放眼長期」。美國的勞資關係是階級制與「老派的」，對廠房員工的訓練或激勵不足。盛田昭夫認為，美國人應該停止抱怨日本的成功。如今該讓美國朋友知道真相了：日本的體制[3]就是運作得比較好。

1989年，盛田昭夫在散文集《一個可以說NO的日本》（*The Japan That Can Say No*）中闡述了他的觀點。這本書是他與爭議性的極右派政治家石原慎太郎合著的。石原慎太郎仍在讀大學時就因為出版一部充滿性愛色彩的小說《太陽的季節》而聲名鵲起，那本小說還得到[4]芥川獎。他接著利用那個名聲來罵外國人，名聲又因此變得更響亮，後來還成為自民黨的議員。在日本國會，石原慎太郎鼓吹日本應該在國際

上維護自己的地位，也鼓吹日本修改二戰後由美國占領當局所制定的日本憲法，建立一支強大的軍隊。

盛田昭夫針對美國的內部危機發表看法時，竟然找石原慎太郎一起寫書，很難想像更具挑釁意味的合著者了。那本書是由一系列的散文所組成，有些是盛田昭夫寫的，有些是石原慎太郎寫的。盛田昭夫的文章大多是重提一些他對美國商業實務的缺點有何看法，但那些文章標題的語氣（例如〈美國，你最好放下某些傲慢〉）通常比盛田昭夫在紐約的晚宴上表達的更嚴苛。在書中，連一向謙和的盛田昭夫也難掩其觀點：日本的科技實力已經為日本贏得了世界強權的地位。當時盛田昭夫對一位美國同業說：「軍事上，我們永遠無法贏過美國，但經濟上，我們可以超越美國，[5]成為世界第一。」

石原慎太郎向來毫不猶豫地說出內心的真實想法。他的第一部小說是描述不受拘束的性衝動，他的政治生涯始終支持日本民族主義最令人詬病的部分。他在《一個可以說NO的日本》中所發表的文章，呼籲日本擺脫霸道專橫的美國，因為美國對日本頤指氣使已經太久了。石原慎太郎的一篇文章宣稱：「我們不要屈服於美國的恫嚇！」另一篇文章又主張：「抑制美國！」日本的極右派對於日本在美國主導的世界中屈居次等地位，一直非常不滿。盛田昭夫願意與石原慎太郎這樣的人合寫一本書，震驚了許多美國人。這表示美方培養出來的資本階級裡，仍潛伏著一種具有威脅性的民族主義。1945年以來，美國的策略一直是藉由貿易與技術交流，把日本與美國綁在一起。盛田昭夫可以說是美國技術移轉與市場開放的最大受益者。如果連他都質疑美國的領導地位，那美國就需要重新思考自己的策略了。

《一個可以說NO的日本》真正讓美國害怕的是，它不僅闡述一種零和心態的日本民族主義，石原慎太郎還找到一種脅迫美國的方法。石原慎太郎認為，日本不需要服從美國的要求，因為美國依賴日本的半導體。他指出，美國的軍事實力有賴日本的晶片。他寫道：「無論是中程

核武器，還是洲際彈道飛彈，都是靠極其精密的小電腦來確保武器的精準度。如果不使用日本的半導體，就無法確保這種精準度。」石原慎太郎臆測，日本甚至可以向蘇聯提供先進的半導體，藉此打破冷戰時期的軍事平衡。

石原慎太郎說：「電腦核心使用的1MB半導體，面積僅有小指指甲的三分之一，裡面有成千上百萬條電路，這種半導體只在日本製造。日本幾乎囊括了1MB半導體的全部市占率。現在日本在這方面至少領先美國五年，而且差距仍在擴大。」使用日本晶片的電腦是「軍事實力的核心，所以也是日本國力的核心……從這個意義上來說，日本已經變成一個[6]非常重要的國家。」

其他的日本領導人似乎也抱持同樣挑釁的民族主義觀點。例如，報導引用外務省一名資深官員的說法：「美國人就是不想承認，日本在與西方的經濟競賽中獲勝了。」即將成為日本首相的宮澤喜一公開指出，如果切斷日本電子產品的出口，將使「美國經濟出問題」，並預測「亞洲經濟區將超越北美經濟區」。一位日本教授宣稱，在工業與高科技業的崩解下，美國的未來將成為「主要的農業大國，[7]有如放大版的丹麥」。

在美國，《一個可以說NO的日本》使美國人群情激憤。中央情報局翻譯了那本書，並以非正式的方式傳播。一位憤怒的國會議員把整本書（以英文出版的非正式版本）放入「國會記錄」（Congressional Record）中以便宣傳。書店表示，華盛頓特區的顧客[8]「瘋狂地」想取得盜版。盛田昭夫覺得很尷尬，所以他讓那本書的官方英譯版只刊登石原慎太郎的文章，移除他的文章。盛田昭夫告訴記者：「我現在很後悔參與那個案子，因為它引起太多的混淆。我覺得美國讀者並不曉得我的觀點與石原慎太郎的觀點是分開的。我的『散文』是表達我的觀點，他的『散文』是[9]

表達他的觀點。」

然而，《一個可以說NO的日本》之所以引發爭議，並不是因為書中的觀點，而是因為書中點出的事實。美國在記憶體晶片領域已經明顯落後了。這種趨勢要是持續下去，地緣政治的轉變難免會隨之而來。不需要石原慎太郎這種極右派的煽動者，也能看出這點。美國的領導人也預見了類似的趨勢。石原慎太郎與盛田昭夫出版《一個可以說NO的日本》那年，美國的前國防部長布朗發表了一篇文章，得出大致相同的結論。布朗那篇文章的標題是

10

〈高科技是外交政策〉。如果美國的高科技地位正在惡化，它的外交政策地位也岌岌可危。

對布朗來說，承認這點很尷尬。1977年他招攬裴瑞加入國防部，並授權他把半導體與運算力列為軍方最重要的新武器系統的核心。布朗與裴瑞成功說服了軍方接受微處理器，但他們沒料到矽谷竟然會失去領導地位。他們的策略在新武器系統方面奏效了，但其中有許多系統現在有賴日本廠商。

布朗承認：「日本在記憶體晶片方面領先，而記憶體晶片是消費電子產品的核心。日本人正迅速在邏輯晶片與專用積體電路領域中迎頭趕上。」日本在製造晶片所需的某些設備方面，也高居領先地位，例如微影成像設備。布朗所能預見的最好結果是，未來美國仍會保護日本，但美國是使用日本技術所驅動的武器。美國把日本變成電晶體推銷員的策略，似乎出了可怕的差錯。

日本身為一流的科技強國，會願意屈居二流的軍事地位嗎？如果說日本在DRAM晶片領域的成功有什麼借鑒意義的話，那應該是：它將在幾乎每個重要的產業中都超越美國。既然如此，日本何不也尋求軍事主導地位呢？萬一日本真的這樣做，美國該怎麼辦？1987年，美國中情局要求一組分析師

11

預測亞洲的未來。他們把日本稱霸半導體領域視為「日本治世」（Pax

Niponica，由日本領導的東亞經濟與政治集團）興起的證據。美國在亞洲的勢力，是建立在技術主導地位、軍事實力，以及把日本、香港、南韓、東南亞等國交織在一起的貿易與投資連結上。從快捷在香港九龍灣設立第一家組裝廠以來，積體電路就一直是美國在亞洲地位的一大特徵。美國的晶片製造商在台灣、南韓、新加坡等地建廠。這些地區不僅靠軍事力量、也靠經濟整合來抵禦共產黨的入侵，因為電子業吸引當地的農民離開農場（農村的貧困經常會催生反抗勢力的游擊隊），轉而從事組裝電子設備以利美國消費的工作。

美國的供應鏈管理策略在抵禦共產黨方面，發揮了出色的效果。但是到了1980年代，這個策略的主要受益者似乎是日本。日本的貿易與外國投資都大幅成長了。日本在亞洲經濟與政治中的角色正穩健地擴大。如果日本能如此迅速地在晶片業裡建立主導地位，還有什麼能阻止它取代美國的地緣政治霸主地位呢？

▲ 1980年代，日本挑戰美國在半導體業的霸主地位。索尼的共同創辦人盛田昭夫與井深大率先推出索尼隨身聽之類的革新性產品，證明了亞洲公司不僅能有效地生產，還能獲得利潤豐厚的消費市場。（Sony）

▲ 面對來自亞洲的競爭，美國的晶片製造商是靠創新競爭。葛洛夫在摩爾之後接任英特爾的執行長，與比爾．蓋茲結盟。40年後，微軟的Windows軟體與英特爾的x86晶片持續主宰個人電腦事業。（AP Photo/Paul Sakuma）

*1 盛田昭夫馬上聯想到全世界對日本的印象：與小裝飾品和廉價仿製品聯想在一起。

*2 曾任大通銀行的董事長兼執行長，是洛克菲勒家族第三代中最年長的在世成員。

第四部

美國的復興

21

薯片大王

傑克．辛普洛（Jack　　Simplot）以前常說，美光（Micron）製造「全世界最棒的小玩意兒」。這位愛達荷州的億萬富豪不太懂自家公司的主要產品——DRAM晶片的實際運作原理。晶片業放眼望去到處都是博士，但辛普洛連八年級都沒讀完。他的專業是馬鈴薯，從他平常在波夕市（Boise）駕駛的白色林肯轎車的車牌就看得出來，車牌上寫著：[1]

馬鈴薯先生（Mr.　Spud）。然而，辛普洛瞭解商業，而且比矽谷那些最聰明的科學家都懂。當美國晶片業疲於因應日本的挑戰之際，像他那樣的牛仔企業家扮演了關鍵要角，扭轉了諾伊斯所謂的「死亡螺旋」，甚至出乎意料地逆轉頹勢。

矽谷的復興是靠鬥志旺盛的新創企業及痛苦的企業轉型推動的。美國超越日本的DRAM巨擘，不是靠模仿，而是靠創新來甩開它們。矽谷並未抽離這個產業，而是把更多的生產轉移到台灣與南韓，重新獲得競爭優勢。與此同時，隨著美國晶片業的復甦，國防部押在微電子上的賭注也開始出現回報，美國開始部署其他國家所無法匹敵的新武器系統。1990年代與2000年代的美國之所以所向無敵，是因為美國在電腦晶片方面重新掌握了主導地位。電腦晶片可說是那個年代的核心技術。

在所有協助重振美國晶片業的人中，辛普洛是最出人意料之外的人物。他最早是靠馬鈴薯致富，率先使用機器來分類、脫水、冷凍馬鈴薯再做成薯條。這不是矽谷式的創新，但那讓他拿下了銷售馬鈴薯給麥當

勞的龐大合約。麥當勞用來製作薯條的馬鈴薯中，有一半曾是他供應的。

辛普洛資助的美光公司，本來似乎註定會倒閉。1978年，雙胞胎兄弟喬．帕金森（Joe Parkinson）與沃德．帕金森（Ward Parkinson）在波夕市一家牙科的地下室創立了美光，當時可能是創立記憶體晶片公司最糟的時機。日本公司正大量產出高品質又低價的記憶體晶片。美光的第一份合約是為德州的莫斯泰克公司（Mostek）設計64K的DRAM晶片。但美光就像其他的美國DRAM廠商一樣，在市場上根本不是富士通的對手。不久，美光晶片設計的唯一客戶莫斯泰克破產了。在日本競爭的衝擊下，AMD、國家半導體、英特爾與其他的業界領先者也放棄了DRAM生產。面對價值數十億美元的損失與倒閉，整個矽谷似乎都要破產了。美國最聰明的工程師可能都要失業，轉行去煎漢堡。至少，這個國家仍有大量的薯條。

隨著日本公司搶奪市占率，美國各大晶片公司的執行長花在華盛頓的時間愈來愈多，他們積極地遊說國會與國防部。當日本的競爭加劇時，他們擱下了自由市場的信念，聲稱競爭根本不公平。矽谷憤怒地駁斥「薯片與晶片沒什麼區別」這種說法。他們堅稱，他們的晶片應當獲得政府的協助，因為晶片有戰略意義，馬鈴薯沒有。

辛普洛覺得馬鈴薯沒什麼不好，但「矽谷應當獲得特殊幫助」這種說法，在愛達荷州根本說不通，畢竟那裡的科技公司少之又少。美光一開始吃盡了苦頭才募得創業資金。共同創辦人沃德為了在灌溉系統中找到故障的電子元件，穿著西裝走過波夕市商人艾倫．諾保（Allen Noble）那片泥濘的馬鈴薯田，因此結識了諾保。帕金森兄弟利用這層關係，從諾保和他在波夕市的幾個有錢朋友那裡獲得了10萬美元的種子資金。當美光失去了為莫斯泰克設計晶片的合約，決定自己製造晶片時，帕金森兄弟需要更多的資金。於是他們找上了

該州的首富：馬鈴薯先生。

帕金森兄弟第一次會見辛普洛，是在波夕市中心的皇家咖啡館。他

們向愛達荷州的馬鈴薯富豪推銷時，講到汗流浹背。電晶體與電容器對辛普洛來說沒多大的意義，他與矽谷的創投業者幾乎是完全相反。後來他成為美光的董事後，每週一的清晨5點45分在當地的平價鬆餅店Elmer’s主持美光的董事會[3]（Elmer’s的鬆餅一份6.99美元）。不過，當矽谷所有的科技巨擘在日本的衝擊下紛紛抽離DRAM晶片事業時，辛普洛憑直覺就知道，帕金森兄弟這時進入記憶體市場正是時候。像他這種馬鈴薯農清楚地看到，日本的競爭已經把DRAM晶片變成一種大宗商品市場。他接觸大宗商品的經驗非常豐富，知道收購大宗商品企業的最佳時機是在價格低迷、其他人都破產的時候。辛普洛決定投資美光100萬美元，[4]後來又追加了數百萬美元。

美國的科技巨擘都認為愛達荷州這些鄉巴佬對晶片業一竅不通。賽文（L. J. Sevin）曾是德儀的工程師，如今是頗具影響力的創投業者，他指出：「我實在很不想說記憶體晶片已經玩完了，但這個領域確實已經沒戲唱了。」在英特爾，葛洛夫與摩爾也得出同樣的結論。德儀與國家半導體都宣布其[5]DRAM部門虧損並進行裁員。《紐約時報》宣稱美國晶片業的未來「很嚴峻」。而辛普洛就在此時進入了這個產業。

帕金森兄弟會刻意渲染他們的鄉巴佬形象，用略帶鄉下口音的慢速度來講述漫長曲折的故事。事實上，他們和矽谷任何新創企業的創辦人一樣精明幹練。兩人都曾在哥倫比亞大學求學，畢業後，喬擔任過企業律師，沃德則是在莫斯泰克公司設計晶片。但他們欣然接受了[6]「愛達荷州的局外人」這種形象。他們的商業模式是大舉進軍一個被美國各大晶片公司拋棄的市場，所以他們想當然也不可能在矽谷交到很多朋友。當時的矽谷仍在舔著美日DRAM大戰所留下的傷口。

起初，美光取笑矽谷積極爭取政府的協助以對抗日本企業的做法。

他們假裝拒絕加入美國半導體協會（該協會是由諾伊斯、桑德斯、斯波克創立的遊說團體）。喬．帕金森表示：「我很清楚他們有不同的行動計畫。他們的策略是，不管日本人進入什麼市場，我們都離開。那些主導半導體協會的人並不想跟日本人正面對決，但我覺得那是[7]一種自扯後腿的策略。」

美光決定直接投入日本DRAM廠商所在的市場，挑戰他們，但做法是大幅削減成本。不久，美光發現，關稅可能會有幫助，於是他們改弦易轍，積極遊說政府對進口的日本DRAM晶片徵收關稅。他們指責日本廠商以低於成本的價格在美國傾銷晶片，損害美國廠商的利益。辛普洛對於日本的貿易政策破壞了他的馬鈴薯銷售與記憶體晶片，感到非常憤怒。他抱怨道：「他們對馬鈴薯徵收很高的關稅，害我們付出很大的代價。我們可以在技術上超越他們，在生產上超越他們，把他們打得落花流水，但他們簡直是以半買半相送的價格賣晶片。」因此他要求政府徵收關稅。「你問我們為什麼要去找政府？[8]因為法律規定他們不能那樣做。」

辛普洛指控日本公司削價太多，這說法有點好笑。畢竟，無論是馬鈴薯還是半導體，他總是說，事業要成功，就必須「以最低成本，生產最高品質的產品」。總之，美光特別擅長削減成本，矽谷與日本廠商都不是它的對手。一位早期的員工回憶道，沃德．帕金森是「組織背後的工程智囊」，他的專長是盡可能以最高效率來設計DRAM晶片。競爭對手大多把焦點放在盡量縮小每個晶片上的電晶體與電容器。但沃德發現，只要縮小晶片本身的尺寸，美光就可以讓每片矽晶圓產出更多的晶片，大幅提升製程效率。沃德開玩笑說：「那是市面上最糟的產品，[9]但也是生產成本最低的。」

接下來，沃德與助手簡化了製程。製造的步驟愈多，每個晶片的製造時間愈長，出錯的空間也愈大。到了1980年代中期，美光使用的生產步驟比競爭對手少得多，採用的設備也比較少，又進一步削減了成本。他們調整了從珀金埃爾默、ASML買來的微影成像機台，把它改得比製

造商自認可達到的水準還要精確。他們也改裝爐管，使它能每次烘烤250個矽晶圓，而不是業界標準的150個。製程中的每一步，只要能處理更多的晶圓或減少生產時間，就能降低價格。一位早期的員工解釋，「我們是邊做邊摸索」，所以與其他的晶片製造商不同，「我們準備好做一些

10

以前沒明文寫下來的東西」。相較於任何日本或美國的競爭對手，美光員工的工程專業更專注於削減成本。

美光非常關注成本，因為它別無選擇。對一家位於愛達荷州的小型新創企業來說，它只能靠這種方法贏得客戶。波夕市的土地與電力比加州和日本便宜也有幫助（水力發電的成本較低）。不過，要在市場上生存下來依然辛苦。1981年，美光的現金餘額一度降到只夠支付兩週的薪資。美光勉強度過了那次危機，但幾年後又再次經歷低迷時，它不得不解雇一半的員工，

11

並削減其餘員工的薪資。打從創業之初開始，喬．帕金森就讓員工清楚明白，他們的生存取決於效率。在DRAM價格下跌時，為了節省電費，他甚至會在夜間調暗走廊的燈光。員工覺得他根本是成本控制魔人，而成果有目共睹。

美光的員工別無選擇，只能想盡辦法讓公司活下去。在矽谷，萬一你的公司關門大吉，你可以沿著101號公路開車去下一家晶片公司或電腦製造商求職。相較之下，美光是在波夕市，一名員工解釋：「我們沒別的事可做，就只能製作DRAM，不做DRAM就完了。」另一位員工回憶道，公司充滿了一種「勤奮、藍領的工作氛圍」，一種類似「血汗工廠的心態」。一位早期的員工經歷過DRAM市場連串痛苦的低迷，他回憶道：「

12

記憶體晶片是個非常殘酷的產業。」

辛普洛從未失去信心。在他投入的任何事業中，他都挺過了每次低

谷期。他不會因為短期的價格波動就放棄美光。雖然美光是在日本競爭達到顛峰之際進入DRAM市場，但美光不僅存活下來了，最終更蓬勃發展。其他的美國DRAM廠商大多在1980年代末期被迫退出市場。德儀持續生產DRAM晶片，但難以獲利，最終把DRAM事業賣給美光。辛普洛的第一筆投資100萬美元，最終膨脹成10億美元的股份。

在每一代DRAM晶片的儲存量方面，美光學會與東芝、富士通等日本對手競爭，並在成本上擊敗它們。就像DRAM業的其他公司一樣，美光的工程師突破物理定律的局限，開發出密度愈來愈高的DRAM晶片，為個人電腦提供需要的記憶體晶片。但是光靠先進技術，並不足以拯救美國的DRAM產業。英特爾與德儀擁有許多技術，但就是無法讓業務持續運轉。美光那些鬥志高昂的愛達荷工程師靠著創意及削減成本的技巧，擊敗了太平洋兩岸的競爭對手。美國晶片業經歷了十年的痛苦煎熬後終於反敗為勝，這一切要歸功於美國最強大的馬鈴薯農所展現的經商智慧。

22

顛覆英特爾

「嘿，克里斯汀生，我很忙，[1]沒時間看學術界的廢話連篇。」葛洛夫對哈佛商學院最著名的教授克雷頓．克里斯汀生（Clayton Christensen）這麼說。幾年後，兩人一起登上《富比士》雜誌封面時，203公分高的克里斯汀生聳立在葛洛夫的身邊，葛洛夫的禿頂還不到克里斯汀生的肩膀。但葛洛夫的熱情超越了周遭的每個人，他的長期副手說，他是[2]「匈牙利來的狠角色」，「他會把人罵得體無完膚，大吼大叫，不斷質疑，盡可能地把你逼到極限」。最重要的是，葛洛夫的堅韌避免了英特爾破產，使英特爾變成全球最賺錢、最強大的公司之一。

克里斯汀生教授以「破壞性創新」理論著稱。該理論是指新技術顛覆了現有的公司。隨著DRAM產業的衰退，葛洛夫意識到曾是創新代名詞的英特爾，如今正遭到顛覆。到了1980年代初期，摩爾仍在英特爾扮演要角，但葛洛夫是英特爾的總裁，負責日常營運。葛洛夫在暢銷著作《10倍速時代：唯偏執狂得以倖存》（*Only the Paranoid Survive*）中描述他的管理理念：「對競爭的恐懼，對破產的恐懼，對犯錯的恐懼，對失敗的恐懼，都可能是強大的動力。」漫長工作了一天後，正是恐懼促使他不停地翻閱他與下屬的通信或通話內容，深怕他錯過了[3]產品延遲或客戶不滿的消息。表面上，葛洛夫實現了美國夢：曾經一貧如洗的難民如今變成科技大亨。然而，在這個矽谷成功故事的背後，是一位匈牙利的流亡者，童年時期躲避蘇聯與納粹軍隊的記憶深深地烙印在他的心底，留下了創傷。

葛洛夫意識到，英特爾銷售DRAM晶片的商業模式已經結束了。

DRAM價格也許有可能從暴跌中回升，但英特爾永遠無法搶回市占率，它已經遭到日本廠商的「顛覆」。現在，英特爾只有兩個選擇，顛覆自己，或認輸。退出DRAM市場，感覺是不可能的。英特爾開創了記憶體晶片的先河，認輸將是奇恥大辱。一位員工說，就像福特拒絕離開汽車業一樣。葛洛夫自問：「我們怎麼能放棄自己的身分呢？」1985年的大部分時間，他坐在摩爾位於英特爾聖克拉拉總部的辦公室裡，兩人凝視著窗外遠處大美洲主題樂園（Great America amusement park）的摩天輪，希望記憶體市場像摩天輪上的某個小包廂一樣，[4]觸底後最終會再回升。

然而，DRAM事業的慘烈數字是無法否認的。英特爾永遠無法從記憶體賺到足夠的錢來證明新投資的合理性。不過，英特爾在小型微處理器的市場是領導者，日本公司依然落後，而那個領域的一項發展帶來了一線希望。1980年，英特爾獲得美國電腦巨擘IBM的一份小合約，[5]為一種名叫「個人電腦」的新產品製造晶片。IBM與一個名叫比爾．蓋茲的年輕程式設計師簽約，請他為這台電腦的作業系統編寫軟體。1981年8月12日，在華爾道夫飯店的大宴會廳裡（背後是華麗的壁紙與厚重的簾幕），IBM宣布推出個人電腦，售價1565美元，包含一台笨重的主機、一個箱型顯示器、一個鍵盤、一台印表機及兩個磁碟機，[6]內建一個小小的英特爾晶片。

微處理器市場看來幾乎一定會成長，但葛洛夫的一位副手回憶道，當時DRAM是晶片銷量的主軸，「微處理器的業績可能超過DRAM」[7]這種展望實在令人難以置信。葛洛夫別無選擇，他問當時想繼續生產DRAM晶片的摩爾：「如果我們被趕下台，董事會找來新的執行長，你認為他會怎麼做？」摩爾不好意思地坦言：「他會讓英特爾退出記憶體市場。」最後，英特爾決定放棄記憶體市場，把DRAM市場拱手讓給日本人，專注為個人電腦生產微處理器。這對一家靠DRAM起家的公司來說，是一次大膽的賭注。「破壞性創新」在克里斯汀生的理論中聽起來很有吸引力，但實務上做起來痛苦極了。葛洛夫回憶道，那是一段

8

「咬緊牙根」、「爭論不休」的時期。過程中，「破壞」是顯而易見的，但「創新」如果真的奏效，則需要好幾年後才看得出來。

在等待這次押注個人電腦是否真的奏效時，葛洛夫也以矽谷罕見的方式，善用他那種無時無刻戰戰兢兢的偏執力。每天上班是上午八點準時開始，任何人遲到都會遭到公開批評。員工之間出現意見分歧時，是用葛洛夫所謂的

9

「建設性衝突」（constructive confrontation）策略來解決。他的副手克雷格．巴雷特（Craig Barrett）打趣說，他最常用的管理技巧是「抓住某人，用大鍾敲他的頭」。

這不是矽谷著稱的自由放任文化，但英特爾需要一名教官，它的DRAM晶片跟美國的其他同業一樣，面臨著同樣的品質問題。英特爾在DRAM上還有獲利時，是靠著率先推出新設計取勝，而不是靠量產取勝。諾伊斯與摩爾始終把焦點放在維持先進技術上，諾伊斯坦言，他總是覺得

10

「冒險」比「控制」更有趣。但葛洛夫對「控制」的熱愛，勝過了一切，這也是1963年摩爾把他拉進快捷半導體的原因：解決公司的生產問題。後來葛洛夫跟隨諾伊斯與摩爾到英特爾時，他也被賦予同樣的角色。在一種揮之不去的恐懼感驅使下，葛洛夫的餘生都沉浸在公司的生產流程與事業的每個細節中。

在葛洛夫的重建計畫中，第一步是裁員25％以上的英特爾員工，關閉在矽谷、奧勒岡、波多黎各、巴貝多的工廠。葛洛夫的副手把他的做法描述為：「我的天啊，開除那些人，把船燒了，把事業收了。」他的冷酷與果斷是諾伊斯與摩爾永遠做不到的。第二步是讓製造運轉起來，他和巴雷特拼命地模仿日本的製造方式。「一位下屬回憶道，巴雷特基本上是拿著棒球棍去工廠吶喊：『媽的！我們絕對不能被日本人打敗！』」他逼廠長去日本參訪，並告訴他們：「

11

這才是你們應該做的事。」

英特爾新採用的製造方法稱為「完全複製」。一旦確定某套生產流程最有效，他們就會在英特爾的所有工廠內複製同一套流程。在這之前，工程師一直是以微調英特爾的流程為榮。現在公司要求他們別想了，直接複製。一位員工回憶道：「這是很大的文化問題。」因為裝配線的嚴謹取代了自由放任的矽谷風格。巴雷特坦言：「大家覺得我很獨裁。」但「完全複製」這招奏效了：英特爾的良率大幅提高，製造設備的使用也變得更有效率，壓低了成本。每家工廠的運作開始變得不像研究實驗室，而

12

更像一台精準調節的機器。

葛洛夫與英特爾也很幸運。1980年代初期，對日本廠商有利的一些結構性因素開始變了。1985至1988年間，日元對美元的匯率漲了一倍，使美國的出口產品變得更便宜。1980年代，美國的利率大幅下滑，降低了英特爾的資本成本。同時，總部位於德州的康柏電腦（Compaq Computer）大舉進軍IBM的個人電腦市場，因為他們意識到，雖然編寫作業系統或打造微處理器很難，但把個人電腦的元件組裝到一個塑膠盒裡簡單多了。康柏採用英特爾的晶片與微軟的軟體，推出自己的個人電腦，價格遠低於IBM的個人電腦。到了1980年代中期，康柏與其他製造「仿IBM個人電腦」的公司所賣出的個人電腦

13

比IBM還多。隨著電腦進駐每個辦公室與許多家庭，電腦價格急劇下降。除了蘋果的電腦以外，幾乎每台個人電腦都使用英特爾的晶片與微軟的Windows軟體——兩者的設計就是為了平順地一起運作。英特爾進入個人電腦時代時，幾乎壟斷了個人電腦的晶片銷售。

葛洛夫改造英特爾，可說是矽谷資本主義的典型案例。他意識到公司的商業模式不再適用，決定放棄公司創立時的根基（DRAM晶片），親手「顛覆」英特爾。英特爾在個人電腦的晶片市場奠定了壟斷地位，每一兩年就推出新一代的晶片，提供更小的電晶體與更強的處理力。葛洛夫相信，唯有無時無刻戰戰兢兢的偏執狂才能存活下來。真正拯救英特爾的關鍵，不是創新或專業，而是他的偏執力。

23

我的敵人的敵人——韓國崛起

李秉喆幾乎賣任何東西都能賺錢。他生於1910年，只比辛普洛小一歲，於1938年3月開始經商，當時他的祖國韓國仍屬於日本帝國的一部分，日本與中國正在交戰，不久又與美國開戰。李秉喆最早販售的商品是魚乾與蔬菜，他從韓國集貨，運往中國北方，供應作戰的日軍。當時的韓國是窮鄉僻壤，沒有工業或技術，但李秉喆已經夢想建立一個「[1]強大又永恆」[*1]的企業。後來他把三星變成了半導體巨擘，這一切要歸功於兩個有影響力的盟友：美國晶片業與南韓政府。矽谷擊敗日本的一個策略關鍵，就是在亞洲尋找更便宜的供給來源。李秉喆認為這是三星能輕鬆勝任的角色。

南韓很習慣在更大的競爭對手之間遊走。李秉喆創立三星的七年後，1945年美國戰勝日本，三星原本可能就此瓦解。然而，李秉喆巧妙地轉變交易對象，他更換交易對象就像賣魚乾一樣順利。他與戰後占領韓國南半部的美國人建立關係，並擊退了那些想要分拆三星等大型財團的南韓政客。當北韓的共產政府入侵南韓時，他甚至保住了自己的財產——不過，當敵人短暫地占領首爾時，一名共產黨領導人沒收了李秉喆的雪佛蘭，[2]開著那台車在被占領的首都穿梭。

戰爭期間，李秉喆仍持續擴大商業版圖，在南韓複雜的政治圈裡遊走。1961年，軍政府掌權後，把李秉喆的銀行收歸國有，但他的其他公司完好無損。他堅稱，三星是為了國家利益而努力，而國家利益取決於三星能否成為一家世界級的公司。李氏家族的[3]

家訓第一條就是「事業報國」。他從販賣魚乾與蔬菜起家，接著多角化投入糖、紡織、化肥、營建、銀行、保險等事業。他把韓國在1960年代與1970年代的經濟榮景，視為他事業報國的證據。然而，批評者說，1960年他已是韓國首富，他的財富根本是這個國家與貪腐政客為他服務的證據。

長久以來，李秉喆目睹東芝、富士通等公司在1970年代末期與1980年代初期搶下DRAM市占率，他一直很想打入半導體業。美國或日本的晶片製造商把晶片的封裝外移時，南韓已是重要的地點。此外，美國政府曾資助1966年成立的韓國科學技術院，而且有愈來愈多的韓國人從美國的名校畢業，或在韓國接受留美教授的指導。然而，即使有熟練的勞力，一家公司想從基本的封裝直接躍升到先進的晶片製造並不容易。三星之前曾涉足簡單的半導體事業，但難以獲利或[4]發展出先進技術。

然而，1980年代初期，李秉喆察覺環境變了。1980年代，矽谷與日本之間激烈的DRAM競爭提供了一個契機。與此同時，南韓政府也把半導體列為優先產業。正在思索三星的未來的李秉喆，於1982年的春天前往加州，參觀了惠普的設施，他對惠普的技術驚歎不已。如果惠普能夠從帕羅奧圖的小車庫發展成科技巨擘，像三星這樣賣魚乾與蔬菜的商店肯定也能做到。惠普的一名員工告訴他：「這一切要歸功於半導體。」李秉喆也參觀了IBM的一家電腦廠，他很訝異自己被允許在廠內拍照。他對那位帶他參觀工廠的IBM員工說：「你們工廠裡肯定有很多祕密。」那位員工信心十足地回應：「[5]光看是無法複製那些祕密的。」不過，複製矽谷的成功，正是李秉喆打算做的事。

那樣做需要數百萬美元的資本支出，而且不保證奏效。即使對李秉喆來說也是一場豪賭。他猶豫了好幾個月。萬一失敗，很可能會拖垮他的整個商業帝國。不過，南韓政府表示願意提供金援，政府曾經承諾投資4億美元來發展南韓的半導體業。而且南韓的銀行也會依循政府的指

示，再提供數百萬美元的貸款。因此，南韓的科技公司就像日本一樣，不是從車庫中誕生的，而是從那些能夠獲得廉價的銀行貸款及政府支持的大型財團中誕生的。1983年2月，李秉喆度過緊張、無眠的一晚之後，打電話告訴三星電子部門的負責人：「三星將生產半導體。」他表示，他要把公司的未來押在半導體上，並

6

準備投入至少1億美元。

李秉喆是個精明的企業家，南韓政府也堅定地支持他。然而，如果沒有矽谷的支援，三星在晶片上的豪賭不可能奏效。矽谷認為，想要因應來自日本的記憶體晶片競爭，最好的方法是在南韓找到一個更便宜的來源，同時讓美國的研發專注在價值更高的產品上，而不是已經大宗商品化的DRAM。因此，美國的晶片製造商把韓國的後起之秀視為潛在的合作夥伴。諾伊斯告訴葛洛夫，「有韓國人在身邊」，日本「不惜一切代價的傾銷」策略就無法壟斷全球的DRAM生產，因為韓國人會把價格壓得比日本廠商還低。諾伊斯預測，結果將對日本的晶片製造商

7

造成「致命」的影響。

因此，英特爾為韓國DRAM廠商的崛起歡呼。1980年代，包括英特爾在內的幾家矽谷公司與三星簽約，成立合資企業，銷售三星代工的晶片。他們打的如意算盤是，協助韓國的晶片業，可望降低日本對矽谷的威脅。此外，韓國的成本與工資遠低於日本，因此三星等韓國公司即使製程不像日本那麼有效率，也有機會搶到市占率。

8

美日的貿易關係緊繃也有助於韓國企業。1986年，美方揚言，日方若不停止「傾銷」，就要祭出關稅。日方因此同意限制銷往美國的晶片，並承諾不低價銷售。這讓韓國公司有機會以更高的價格出售更多的DRAM晶片。美國人本來沒有打算圖利韓國公司，但他們很樂見日本以外的國家生產他們需要的晶片。

美國不僅為韓國的DRAM晶片提供了市場，也提供了技術。由於矽

谷的DRAM廠商大多瀕臨倒閉，他們對於把先進技術轉移給韓國幾乎沒什麼猶豫。李秉喆提議向資金拮据的記憶體晶片公司美光取得64K DRAM設計的授權，並在過程中與其創辦人沃德．帕金森成為朋友。當時沃德亟需資金，熱切地答應授權，即使那意味著三星會學到他們的許多製程。沃德回憶道：「不管我們做什麼，三星都照著做。」他認為，三星提供的現金挹注對於美光的生存「雖不是關鍵，但很接近了」。摩爾等業界領袖擔心，有些晶片公司可能已經窮途末路，不惜「放棄愈來愈有價值的技術」。然而，當生產記憶體晶片的美國公司大多瀕臨破產時，其實很難證明DRAM技術特別有價值。矽谷的公司大多很樂於與南韓公司合作，讓他們削價與日本對手競爭，幫南韓變成全球一大記憶體晶片的製造中心。背後的邏輯很簡單，誠如AMD創辦人桑德斯所說的：「[9]我的敵人的敵人，就是我的朋友。」

*1　三星意思是「三顆星」，在韓國「三」代表大、多、強；「星」永遠閃耀著光芒，代表明亮、永恆與不滅，李秉喆的願景是讓公司「像天上的星星一樣強大而永恆」。

24

「這就是未來」

美國的晶片業受到日本的DRAM衝擊後還能夠重生，要歸功於葛洛夫的偏執、桑德斯的奮起抗爭，以及辛普洛的草根競爭力。矽谷那種由男性賀爾蒙與股票選擇權推動的競爭，往往不像教科書所描述的無聊經濟學，而更像是達爾文式的競爭，講求適者生存，優勝劣汰。許多公司倒閉，嚴重虧損，遣散了數萬名員工。英特爾、美光等公司之所以倖存下來，主要不是因為它們的工程技能（雖然這也很重要），而是因為它們能夠善用技術天賦，在競爭激烈、無情的產業中賺錢。

然而，矽谷的重生不單只是一個英勇企業家與顛覆創新的故事。在這些新產業巨擘崛起的同時，一批新的科學家與工程師也正在大幅推進晶片的製造，並以革新的方法運用處理力，其中有許多發展是與政府互相協調推動的。這些官方助力通常不是來自國會或總統的強勢推動，而是來自像DARPA這種靈活的小組織。這些組織獲得授權，可以大舉押注在未來技術上，並打造出那些賭注所需的教育與研發基礎設施。

日本以高品質、低成本的DRAM晶片橫掃市場，並不是矽谷在1980年代面臨的唯一問題。摩爾定律預測，每個晶片上的電晶體數量將呈指數成長，但這個夢想變得愈來愈難實現。1970年代末期，許多積體電路都是以相同的流程設計：英特爾的費德里科．法金（Federico Faggin）用來生產[1]第一個微處理器的流程。1971年，法金花了半年的時間，以當時英特爾最先進的工具——直尺與彩色鉛筆——伏案畫設計圖。接著，他用小折刀把這個設計切成紅色薄膜。然後用一台特殊相機，把紅色薄膜上雕刻的圖案投射到光罩上。光罩是一塊外面覆著一層鉻的玻璃板，完美地複製了紅色薄膜的圖案。最後再讓光罩曝光，並以一組透鏡把縮小版的圖

案投射在矽片上。經過幾個月的繪圖與雕刻，法金創造了一個晶片。

問題是，鉛筆與鑷子雖然足夠應付一個有上千個元件的積體電路，但是對一個有上百萬個電晶體的晶片來說，則需要更複雜的東西。留著山羊鬍的物理學家卡弗．米德

2

正為了這個難題傷透腦筋。米德是摩爾的朋友，有人介紹他認識全錄（Xerox）帕羅奧圖研究中心（Palo Alto Research Center，簡稱PARC）的電腦架構師琳．康維（Lynn Conway）。當時，PARC才剛發明了附帶滑鼠與鍵盤的個人電腦概念。

3

康維是傑出的電腦科學家，但跟她交談過的人都會發現，她腦中充滿了多元領域的知識，從天文學到人類學，再到歷史哲學，可說是包羅萬象。她解釋，1968年她因動了變性手術而被IBM解雇，在1973年

4

以「隱姓埋名」的方式加入全錄。她很驚訝地發現，矽谷的晶片製造商比較像藝術家，而不是工程師。晶片製造者是以高科技的工具搭配簡單的鑷子，在每一塊矽片上製造出極其複雜的圖案，但他們的設計方法竟然像中世紀的工匠那樣。每家公司的晶圓廠都有一套冗長、複雜的專利指令，說明晶片要在該廠生產所必須遵守的設計規則。身為電腦架構師，康維受過的訓練是以任何電腦程式都適用的標準化指令來思考。她覺得晶片製造業的設計方法

5

出奇地落伍。

康維意識到，米德預言的數位革命，需要演算嚴密性才有可能實現。一位共同的朋友介紹她與米德認識後，他們開始討論如何把晶片設計標準化。他們想，為什麼不能用程式設計來開發一種可以設計電路的機器呢？米德說：「一旦你能寫一個程式來做某件事，就不需要任何人的工具組了，

6

你可以自己編寫。」

康維與米德最終開發出一套數學的「設計規則」，為自動化晶片設計奠定了基礎。設計師採用康維與米德的方法，就不必畫出每個電晶體的位置，而是從他們的技術所促成的「可互換元件庫」抓出來繪圖。米德喜歡把自己想像成約翰尼斯．古騰堡（Johannes Gutenberg），古騰堡把圖書生產加以機械化，讓作家可以專注於寫作，讓印刷商可以專注於印刷。不久，麻省理工學院就邀請康維去開課，傳授這種晶片設計方法。她的每個學生都設計了自己的晶片，接著把設計送到晶圓廠製造。六週後，從未踏進晶圓廠的學生，就可以從郵件收到運作正常的晶片。[7]古騰堡時刻來臨了！

沒有人比國防部對這場「米德—康維革命」（Mead-Conway Revolution）更感興趣了。國防部的國防先進研究專案局（DARPA）資助了一項計畫，讓大學的研究人員把晶片設計送到先進的晶圓廠生產。雖然DARPA以資助未來武器系統著稱，但他們在半導體方面同樣致力打造教育基礎設施，要讓美國[8]培養出足夠的晶片設計師。DARPA也幫大學取得先進的電腦，並邀請產官學者來開研討會，讓大家一邊享用美酒、一邊討論研究問題。DARPA認為，幫助企業與教授延續摩爾定律，是[9]維持美國軍事優勢的關鍵。

晶片業也資助大學研究晶片設計技術，成立了半導體研究機構（Semiconductor Research Corporation，簡稱SRC），向卡耐基梅隆大學、加州大學柏克萊分校等大學發放研究補助金。1980年代，來自這兩所大學的學生與教職員創立了多家新創企業，形成一個前所未有的新產業：半導體設計的軟體工具。如今，每家晶片公司都使用三家晶片設計軟體公司的工具，而這三家公司都是由DARPA與SRC資助的研究課程所[10]培養出來的校友創立的。

DARPA也支持研究人員探索第二組挑戰：為晶片日益增強的處理力

尋找新的用途。無線通訊專家厄文．雅各布（Irwin　Jacobs）就是其中一位研究人員。雅各布生於麻州的餐廳世家。在愛上電機工程學以前，他原本打算跟隨父母的腳步進入餐飲業。1950年代，他一直在摸索真空管與IBM計算器。在麻省理工學院攻讀碩士期間，雅各布研究了天線與電磁理論，決定把研究重點放在資訊理論上——研究

11

如何儲存與交流資訊。

無線電已無線傳輸數十年了，無線通訊的需求愈來愈大，但頻譜空間有限。如果你想要一個99.5FM的廣播電台，你必須確保99.7FM沒有廣播電台，否則干擾會讓人聽不清楚你的傳訊。同樣的道理也適用於其他形式的無線電通訊。一段頻譜中包含的資訊愈多，這些資訊朝著無線電接收器傳送時，從建築物反彈回來的混雜訊息相互干擾所造成的錯誤空間愈小。

雅各布在加州大學聖地牙哥分校的長期同事安德魯．維特比（Andrew　Viterbi）在1967年設計了一種複雜的演算法，來解碼一組在嘈雜電波中回蕩的雜亂數位訊號。科學家稱讚那是一個出色的理論，但維特比的演算法似乎很難在實務中落實。說一般的無線電可以運算複雜的演算法，那概念似乎令人難以置信。

1971年，雅各布飛往佛羅里達州的聖彼德堡，參加一場有關傳播理論的學術會議。許多教授悲觀地認為，「把資料編碼成無線電波」這個學術子領域已經達到實務上的極限。無線電頻譜只能容納有限數量的訊號，超過那個極限後，訊號就無法辨識與解讀。維特比的演算法提供了一種理論上可行的方法，把更多的資料塞入相同的無線電頻譜中。但問題是，沒有人有足夠的運算力可以大規模地運用這些演算法。透過空中傳輸資料的流程似乎遇到了瓶頸。一位教授宣稱：「程式編碼已死。」

雅各布完全不認同這種看法。他從後排站起來，高舉一塊晶片說：「

12

這就是未來。」雅各布發現，晶片的進步速度極快，很快就能在同一個

頻譜空間中編碼無數倍的資料。由於每塊晶片上的電晶體數量是呈指數級成長，透過某道無線電頻譜發送的資料量也將飛速成長。

雅各布、維特比與幾位同事創立了高通無線通訊公司（Qualcomm，縮寫自quality communications）。他們認為，隨著微處理器變得愈來愈強大，不久就可以把更多的訊號塞入現有的頻譜頻寬中。最初，雅各布獲得DARPA與NASA的合約，建造太空通訊系統。1980年代末期，高通把業務多元化，跨入民用市場，為卡車運輸業推出衛星通訊系統。但即使在1990年代初期，使用晶片透過空中發送大量資料似乎仍是小眾事業。

對於像雅各布這種教授出身的企業家來說，DARPA的資金與國防部的合約對於維持他的新創企業營運非常重要。但只有部分的政府專案真的發揮了效用，例如，半導體製造技術聯盟（Sematech）試圖拯救美國微影成像業的領導業者，就是不幸的失敗。面對瀕臨倒閉的公司，政府提供再多的幫助也沒有用。政府的幫助若要奏效，應該要善用美國既有的優勢，提供資金讓研究人員把聰明的概念轉化為原型產品。國會議員要是知道，DARPA這個國防機構居然宴請電腦科學的教授來討論晶片設計理論，肯定會大發雷霆。但正因為有這些資助，科學家縮小了電晶體，發現了半導體的新用途，促使新客戶購買半導體，並為下一代更小的電晶體提供了資金。在半導體設計方面，世界上沒有一個國家的創新生態系統比美國更好。到了1980年代末期，容納上百萬個電晶體的晶片已經出現了：英特爾發布486微處理器，一塊微小的矽晶片上就容納了120萬個微型開關——這在1970年代康維剛抵達矽谷時是無法想像的。

25

蘇聯KGB技術局

弗拉迪米爾．維特洛夫（Vladimir Vetrov）是蘇聯KGB間諜，但他的人生比較像契訶夫（Chekhov）筆下的故事，而不是007龐德電影。他在蘇聯情報機構KGB的工作很官僚，他的情婦不是超級名模，妻子對他的愛還不如家裡的西施犬。到了1970年代末期，維特洛夫的職涯與人生都走進了死胡同。他厭惡辦公室的工作，也受夠了被老闆忽視。他也對於妻子與他的朋友搞婚外情感到憤恨。為了散心，他躲到莫斯科北部一個村莊的木屋裡，那裡非常原始，連電都沒有。他不躲到那裡的話，[1]會乾脆待在莫斯科喝個爛醉。

維特洛夫的生活並不是一直都那麼枯燥乏味。1960年代初期，他獲得一份派駐巴黎的優渥工作，在那裡擔任「外貿官員」，任務是依照蕭金部長的「抄襲」策略，從法國的高科技業收集機密。1963年，蘇聯為科學家建立微電子城澤列諾格勒那年，KGB成立了一個新的部門：技術局（Directorate T，T是teknologia〔技術〕的縮寫）。美國中情局的一份報告警告，KGB技術局的任務是「取得西方的設備與技術，[2]並提升其生產積體電路的能力」。

1980年代初期，據報導，KGB雇用了約1000人去竊取外國技術。其中約300人派駐海外工作，其餘大多是在KGB位於莫斯科盧比揚卡廣場（Lubyanka Square）的那棟宏偉總部的八樓，下面的樓層在史達林時代曾是監獄與刑訊室。蘇聯的其他情報單位，例如軍方的GRU，也有專注於竊取技術的間諜。據報導，蘇聯在舊金山的領事館有一個60名特務所組成的團隊，專門鎖定矽谷的科技公司。他們直接竊取晶片，或是從黑市購買竊賊供應的晶片。例如，1982年在加州被捕的「獨眼傑克」（One Eyed Jack）就是竊賊之一，他被控從英特爾的工廠竊取晶片，

並把晶片藏在皮夾克中帶出。蘇聯間諜也會勒索那些可取得先進技術的西方人。至少一位住在莫斯科的英國電腦公司的員工，從他居住的高樓窗口[3]「墜落」身亡。

在蘇聯的半導體業，間諜活動持續扮演著重要的角色。1982年的秋天，一群羅德島的漁民在北大西洋海域打撈出一個奇怪的金屬浮標。他們沒料到魚獲中會出現先進晶片。然而，那個神祕的浮標被送到軍事實驗室後，研究人員發現那是蘇聯的監聽設備，裡面採用的晶片完美複製了德儀的5400系列半導體。此外，英特爾把微處理器商業化以後，蕭金部長乾脆關閉了一個試圖生產類似設備的蘇聯研究機構，[4]直接抄襲美國的微處理器。

然而，「抄襲」策略並不像蘇聯那個監聽浮標所示的那麼成功。竊取幾個英特爾最新晶片的樣品很容易，甚至把整批積體電路運到蘇聯也不難（通常是透過設在中立的奧地利或瑞士的[5]空殼公司）。然而，美國的反間諜活動偶爾會揭穿蘇聯在第三國活動的特務，所以這向來不是一個可靠的供應來源。

除非晶片能在蘇聯量產，否則竊取晶片設計對蘇聯來說沒有多大的幫助。在冷戰初期，量產很難做到，到了1980年代，量產更是幾乎不可能。隨著矽谷把愈來愈多的電晶體塞入矽晶片，製造晶片變得愈來愈困難。KGB以為那些竊取行動為蘇聯的半導體廠商提供了非凡的機密，但取得新晶片的樣本並不保證蘇聯的工程師就能生產出來。KGB也開始偷竊半導體的製造設備。美國中情局宣稱，蘇聯已經掌握了半導體製程的幾乎每個面向，包括900台準備半導體材料的西方機器；800台微影成像與蝕刻機；300台摻雜、封裝、[6]測試晶片的機器。

然而，工廠需要全套設備，而且機器故障時也需要備件。有時，外國機器的備件可在蘇聯生產，但這也帶來更多的無效率與新的缺陷。竊

取與抄襲的策略始終運作得不夠好，不足以讓蘇聯軍方的領導人相信他們有穩定供給的優質晶片，因此他們儘量減少在軍事系統中使用電子產品與電腦。

西方花了很久的時間才意識到蘇聯竊取的規模有多大。1965年，KGB剛派維特洛夫去巴黎時，幾乎沒有人知道技術局的存在。維特洛夫與同事常以蘇聯外貿部官員的身分從事臥底工作。蘇聯特務造訪外國的研究實驗室，結識企業高管，並試圖竊取外國產業的祕密時，看起來就像外貿官員從事日常工作一樣。

要不是維特洛夫搬回莫斯科後，決定為原本枯燥的生活增添一些詭譎色彩，技術局的運作可能依然是國家機密。1980年代初期，維特洛夫的職涯停滯不前，婚姻破裂，生活分崩離析。他雖然是像007一樣的間諜，但伏案的工作比龐德多，喝的馬丁尼比龐德少。他決定寄一張明信片給一位巴黎的熟識，為生活增添點樂趣。據他所知，那位熟識[7]與法國的情報機構有聯繫。

不久，維特洛夫就把幾十份有關技術局的文件交給身在莫斯科的法國間諜聯絡人。法國情報單位為他取的代號是「再會」（Farewell）。總計他似乎提供了數千頁KGB的文件，一個專門竊取西方產業機密的龐大官僚機構就這樣曝光了。這個官僚機構有一個關鍵的優先要務：「先進的微處理器」。蘇聯不僅在這方面缺乏熟練的工程師，也缺乏設計先進處理器所需的軟體，以及生產處理器所需的設備。西方間諜這下子才驚覺，[8]蘇聯竊取的資料量有多龐大。

維特洛夫從會見法國特務的例常活動中，找到了新的樂趣，但他並沒有因此獲得成就感。法國人送他國外寄來的禮物，讓他去討情婦歡心，但維特洛夫真正想要的是妻子的愛。他的幻想變得愈來愈嚴重。1982年2月22日，維特洛夫告訴兒子自己打算與情婦斷絕關係後，把車子停靠在莫斯科的環城公路邊，在車內捅了情婦好幾刀。他被警方逮捕後，KGB才意識到他背叛了國家，把技術局的機密洩露給西方情報機

構。

法國迅速與美國及其他盟國的情報機構分享了維特洛夫的相關資訊。雷根政府為此發起了外流行動（Operation　Exodus），加強對先進技術的海關檢查。到1985年，該計畫已查獲了價值約6億美元的商品，並逮捕了約1000人。在半導體方面，雷根政府宣稱，已經阻止「美國技術大量外流到蘇聯」，但那番說法可能誇大了更嚴格管制的影響。蘇聯的「抄襲」策略其實對美國有利，因為那確保了蘇聯的技術持續落後美國。1985年，美國中情局仔細研究了蘇聯的微處理器，發現蘇聯生產的晶片完美複製了英特爾與摩托羅拉的晶片，他們的技術

9

總是落後美國五年。

26
抵銷策略的影響

蘇聯元帥尼古拉．奧加可夫（Nikolai Ogarkov）預測，「遠距、高度精準、終端導引戰鬥系統，無人機，以及全新的電子控制系統」，將把一般炸藥轉變成[1]「大規模毀滅性武器」。1977年到1984年，奧加可夫擔任蘇聯軍隊的總參謀長。他在西方最出名的事蹟，是在1983年蘇聯意外擊落一架來自南韓的民航客機後，領導媒體攻勢。他非但沒認錯，還譴責那架飛機的機長是在執行「深思熟慮、計畫縝密的情報任務」，並宣稱那架客機遭到擊落[2]是「自找的」。這種說法不太可能讓奧加可夫在西方獲得任何朋友，但他可能也覺得無所謂，畢竟他的人生目標是準備與美國開戰。

在冷戰初期的關鍵技術研發競賽中，蘇聯一直與美國並駕齊驅，建造了強大的火箭與龐大的核武儲備。如今電腦運算力取代了火力。說到支撐這種新軍力的矽晶片，蘇聯已遠遠落後。1980年代流行的一個蘇聯笑話是這樣說的，一位蘇聯官員自豪地宣布：「同志，我們打造出全球最大的微處理器了！」

以坦克或軍隊數量等傳統指標來看，1980年代初期的蘇聯[3]享有明顯的優勢，但奧加可夫有不同的看法：質比量更重要。他非常注意美國的精準打擊武器所帶來的威脅。奧加可夫對任何願意傾聽的人說，結合更好的監視與通訊工具，精準打擊數百英里、甚至數千英里外目標的能力，正帶來一場[4]「軍事技術革命」。在越南上空，真空管導引的麻雀飛彈錯失九成目標的日子早已不復見。蘇聯的坦克數量遠比美國多，但奧加可夫意識到，

與美國戰鬥時，他的坦克很快就會變得遠比美國脆弱。[5]

裴瑞的「抵銷戰略」奏效了，而蘇聯無法回應。它缺乏美國與日本晶片製造商所生產的微電子與運算力。澤列諾格勒與其他的蘇聯晶片製造廠都跟不上。裴瑞鼓吹國防部接受摩爾定律，蘇聯的晶片製造業卻因能力匱乏，而要求該國的武器設計師盡可能少用複雜的電子設備。在1960年代，這是可行的方法，但是到了1980年代，這種不願跟上微電子進步的做法，使蘇聯的系統將維持在「智障」狀態，但美國的武器正朝著「智慧化」發展。1960年代初期，美國在義勇兵二型導彈上安裝了一台由德儀晶片啟動的導引電腦，但蘇聯直到1971年才測試第一個內建積體電路的[6]飛彈導引電腦。

由於習慣了劣質的微電子產品，蘇聯導彈的設計者精心設計出變通辦法。他們連輸入導引電腦的數學運算也比較簡單，以便盡量減少導引電腦承受的壓力。蘇聯的彈道飛彈通常是根據特定的飛行路線飛向目標，萬一飛彈偏離預先設定的路線，導引電腦會調整飛彈，使它回歸預定的路線。相反的，1980年代的美國飛彈是[7]自行運算出到達目標的路徑。

1980年代中期，據公開的估計，美國新型MX飛彈落在離目標364英尺（約110米）範圍內的機率是50%。根據一位前蘇聯國防官員的估計，與新型MX飛彈大致相當的蘇聯飛彈SS-25，平均落點離目標是在1200英尺內（約366米）。在冷戰時期軍事規劃者的嚴格標準下，這種幾百英尺的差距非常重要。要摧毀一座城市很容易，但美蘇兩個超級大國都想擁有摧毀對方核武庫的能力。即使是核彈頭，也需要有不錯的直接命中率，才能破壞堅固的飛彈發射室。只要有足夠的直接命中率，一方就有可能在先制打擊（first strike）中削弱對方的核武力。最悲觀的蘇聯估計顯示，如果美國在1980年代發動核武先制打擊，它可以摧毀[8]

98%的蘇聯洲際彈道飛彈（ICBM）。

蘇聯沒有任何犯錯的餘地。蘇聯軍方還有另兩個可對美國發動核武攻擊的系統：遠程轟炸機與飛彈潛艦。一般普遍認為，轟炸機隊是最弱的運載系統，因為它們起飛不久就很容易被雷達偵測到，並在發射核武之前遭到擊落。相較之下，美國的核飛彈潛艇幾乎偵測不到，因此可說是所向無敵。蘇聯潛艇的安全性較低，因為美國正學習運用運算力，使潛艇偵測系統變得更加精準。

尋找一艘潛艇的挑戰，在於瞭解聲波的雜音。聲音從海底以不同的角度反彈，並在水中以不同的角度折射，端看水溫或魚群的存在而定。1980年代初期，美國公開承認它把潛艇感測器插入Illiac IV超級電腦——那是最強大的超級電腦之一，也是第一個使用記憶體晶片的超級電腦，是快捷半導體製造的。Illiac IV超級電腦與其他的處理中心透過衛星，連上船艦、飛機、直升機上的許多感測器，[9]就能追蹤蘇聯潛艇。所以蘇聯潛艇很容易被美方偵測到。

奧加可夫計算數字後推論，美國在導彈精準度、反潛作戰、監視，以及指揮與控制方面都享有半導體優勢，那項優勢可讓美國發動的先發突襲威脅到蘇聯核武庫的存續。核武應當是最終的保險措施，但誠如一位將軍所說的，蘇聯軍隊現在感到[10]「在戰略武器方面明顯落後」。

蘇聯軍方的領導人也擔心爆發常規戰爭。軍事分析家以前認為，蘇聯在坦克與軍隊數量上的優勢，讓它在常規戰爭中享有明確的優勢。然而，首次在越南上空使用的鋪路雷射導引炸彈，已經搭配了一套新的導引系統。戰斧巡弋飛彈可以深入蘇聯的領土。蘇聯的國防規劃者擔心，美國的常規武裝巡弋飛彈與隱密轟炸機可能會使蘇聯無法指揮與控制其核武。這個挑戰直接威脅到[11]蘇聯的生存。

蘇聯希望重振其微電子業，但不知道該怎麼做。1987年，蘇聯領導人戈巴契夫造訪澤列諾格勒，並呼籲該市的工作要[12]有更多的紀律。紀律是矽谷成功的一部分，從斯波克對生產力的執著以及葛洛夫的偏執即可見一斑。然而，光靠紀律並無法解決蘇聯的基本問題。

其中一個問題是政治干預。1980年代末期，[13]奧索金被里加的半導體廠解雇。起因是KGB曾要求他開除幾名員工，其中一人寄信給捷克斯洛伐克的一名女子，另一人拒絕擔任KGB的線民，第三人是猶太人。當奧索金拒絕懲罰這些工人的「罪行」時，KGB開除了他，並試圖解雇他的妻子。在正常情況下，設計晶片已經夠難了。一邊設計晶片，還要一邊對抗KGB，更是不可能。

第二個問題是對軍事客戶的過度依賴。美國、歐洲、日本有蓬勃的消費市場推動了晶片需求。民用半導體市場幫忙資助了半導體供應鏈的專業分工，創造出有各種專業的公司，從超純矽晶圓到微影成像設備中的先進光學技術，都有專業的公司。蘇聯幾乎沒有消費市場，所以它生產的晶片只有西方產量的一小部分。一位蘇聯的消息人士估計，光是日本在微電子方面的資本投資就是[14]蘇聯的八倍。

最後一個挑戰是，蘇聯[15]缺乏國際供應鏈。矽谷藉由與美國的冷戰盟友合作，打造出一種超有效率的全球化分工。日本引領了記憶體晶片的生產，美國生產較多的微處理器，日本的Nikon與Canon以及荷蘭的ASML瓜分了微影成像設備市場。東南亞的工人包辦了大部分的最後組裝。美國、日本、歐洲的公司在這種分工中爭奪地位，但它們都因為能夠把研發成本分攤到一個遠比蘇聯還大的半導體市場上而受益。

蘇聯只有幾個盟友，而且盟友大多沒什麼幫助。以蘇聯主導的東德為例，其晶片業的先進程度堪比澤列諾格勒。1980年代中期，東德憑著

精密製造的悠久傳統，以及耶拿市（Jena）的蔡司公司所生產的世界先進光學元件，為了重振其半導體業而放手一搏。1980年代末期，東德的晶片

產量迅速成長，但該產業只能生產先進度不如日本的記憶體晶片，而且價格還是日本的十倍。先進的西方製造設備依然難以取得，而且東德也沒有矽谷企業在亞洲各地雇用的廉價勞力。

蘇聯振興其晶片製造商的努力徹底失敗了。即使有大規模的間諜活動，又把大量資金挹注在澤列諾格勒那樣的研究設施中，蘇聯與其社會主義的盟友依然趕不上西方。就在蘇聯回應裴瑞的「抵銷」策略開始平息下來之際，世界在波斯灣戰場上赫然瞥見了戰爭的未來。

27

戰爭英雄

1991年1月17日的清晨，第一批美國F-117隱密轟炸機從沙烏地阿拉伯的空軍基地起飛，黑色的機身迅速隱匿在黑暗的沙漠空中，目標是巴格達。自越戰以來，美國還沒打過大規模的戰爭，但現在美軍在沙烏地阿拉伯的北部邊境部署了數十萬人及數萬輛坦克，等候高層發出衝鋒向前的命令。數十艘海軍艦艇在近海部署，艦上的火炮與飛彈炮台瞄準了伊拉克。領導這次進攻的美國將軍諾曼．史瓦茲柯夫（Norman Schwarzkopf）曾是訓練有素的步兵，[1]在越南服役兩次。這次，他依賴距外武器（stand-off weapons）來發動先制打擊。

位於巴格達拉希德街（Rashid Street）的12層高電話局大樓，是美方認為唯一有足夠的重要性，值得派出兩架F-117戰機去攻擊的目標。史瓦茲柯夫將軍的作戰計畫是摧毀那棟大樓，破壞伊拉克的部分通訊基礎設施。這兩架飛機鎖定了轟炸目標，發射2000磅的鋪路雷射導引炸彈。飛彈貫穿了那棟建築，大樓起火燃燒。突然間，CNN駐巴格達記者的電視訊號消失了。史瓦茲柯夫派出的飛官命中目標。幾乎同時，從近海的海軍艦艇上發射的116枚戰斧巡弋飛彈，擊中了巴格達內部及周圍的目標。[2]波斯灣戰爭就此開打。

美軍第一批空襲的目標包括一座通訊塔、一個軍事指揮所、空軍總部、發電廠，以及海珊的度假行館。目的是讓伊拉克迅速陷入群龍無首的狀態，切斷他們的通訊，限制他們追蹤戰況或[3]與部隊溝通的能力。不久，伊拉克的軍隊就開始混亂地撤退。CNN播放

了數百枚炸彈與飛彈襲擊伊拉克坦克的影片。戰爭看起來像電玩影像，但在德州觀察這一切的沃德知道，這種充滿未來感的前衛技術其實可追溯到越戰。

擊中巴格達電話局的鋪路雷射導引炸彈所使用的基本系統設計，與1972年摧毀頷龍橋的

4

第一代鋪路雷射導引炸彈相同。那是以幾個電晶體、一個雷射感測器，以及綁在老式「智障型」炸彈上的一對尾翼製成的。到了1991年，德儀已多次更新鋪路雷射導引炸彈，每次新版都以更先進的電子設備取代原有的電路，減少元件數量，提高可靠性，並增添新功能。波斯灣戰爭開打時，鋪路雷射導引炸彈已成為軍方的首選武器，原因與整個電腦業普遍採用英特爾的微處理器相同：大家都懂這種炸彈，易於使用，成本較划算。鋪路雷射導引炸彈一直很便宜，但在1970年代與80年代期間又變得更便宜了。由於成本低，每個飛行員在訓練演習中都投過鋪路雷射導引炸彈。此外，這種炸彈也有多種用途。目標不需要事先選定，可以在戰場上選擇。而且，擊中率幾乎和電視上看到的一樣好。空軍戰後做的研究發現，非精準打擊軍火的命中率，遠低於飛行員宣稱的命中率；而像鋪路雷射導引炸彈這種精準打擊軍火的命中率，其實比宣稱的命中率還高。相較於無導引炸彈的同類飛機，使用雷射導引來投擲炸彈的飛機，

5

擊中目標的機率是13倍。

事實證明，空軍戰力是美軍在波斯灣戰爭中勝出的決定性因素，不僅摧毀了伊拉克軍隊，也把美國的傷亡降到最低。沃德因發明鋪路雷射導引炸彈，改進其電子設備，以及降低其成本（如他最初承諾那樣，不會比一輛老車還貴），而榮獲獎項。美國軍方以外的人過了幾十年才意識到，鋪路雷射導引炸彈與其他類似的武器是如何改變戰爭的。但用過這些炸彈的飛行員都知道，這種炸彈有多大的變革意義。一名空軍軍官在國防部的頒獎典禮上告訴沃德：「約有一萬名美國人因你發明的這些炸彈

6

而免於喪命。」先進的微電子技術與炸彈上增添的尾翼，徹底改變了軍力的性質。

裴瑞目睹波斯灣戰爭開打時，他知道雷射導引炸彈只是積體電路徹底改變的數十種軍事系統之一。它們讓系統提供更好的監視、通訊與運算力。波斯灣戰爭可說是裴瑞的「抵銷戰略」的第一次重大考驗。那個戰略是越戰之後設計出來的，但從未在大規模的戰役中部署過。

在越戰之後的那幾年，美國軍方仍持續討論軍方的新能力，但許多人沒把那些能力當一回事。指揮越戰的魏摩蘭將軍等軍事領導人承諾，未來的戰場是自動化的。然而，儘管美國相對於北越有普遍的技術優勢，美軍在越戰中依然慘敗收場。既然如此，那為什麼後來更強大的運算力會改變局勢呢？1980年代，除了針對利比亞、格瑞那達等三流對手展開幾次小規模的行動以外，美軍基本上都待在軍營裡。沒有人確切知道國防部的先進設備在真正的戰場上會有什麼表現。

精準打擊武器摧毀伊拉克的建築物、坦克、機場的影片，讓人無法否認一件事：戰爭的性質正在改變。即便是以前在越戰中錯失多數目標的真空管型響尾蛇空對空飛彈（Sidewinder air-to-air missiles），現在也升級改採更強大的半導體導引系統。它們在波斯灣戰爭中的擊中率是越戰的6倍。

裴瑞在1970年代末期鼓吹國防部開發的新技術，效果甚至超出他自己的預期。伊拉克的軍隊配備了蘇聯的國防業所生產的一些最佳裝備，但是面對美國的攻擊時完全束手無策。裴瑞宣稱：「[7]高科技奏效了。」一位軍事分析家向媒體解釋：「這是靠資訊化的武器取勝，而不是靠軍火數量取勝。」《紐約時報》的新聞標題寫道：「這是矽對鋼的勝利」。另一篇報導的標題寫道：[8]「電腦晶片或成戰爭英雄」。

蘇聯也感受到鋪路雷射導引炸彈與戰斧巡弋飛彈的爆炸威力，他們的感受跟巴格達現場的感受一樣強烈。一位蘇聯的軍事分析家宣稱，這

場戰爭是「技術行動」。另一位軍事分析家指出，這是「一場有關無線電波的戰爭」。而戰爭的結果果然不出奧加可夫所料——伊拉克輕易被擊敗。蘇聯的國防部長德米特里．亞佐夫（Dmitri　Yazov）坦承，波斯灣戰爭讓蘇聯開始擔心自己的防空能力。謝爾蓋．阿赫羅梅耶夫元帥（Sergey　Akhromeyev）原本預測這是一場曠日持久的衝突，但伊拉克的迅速投降證明他的預測有誤，[9]

讓他相當尷尬。CNN的影片顯示，美國的炸彈在空中自動導引，擊穿伊拉克建築物的牆壁，證明了奧加可夫對戰爭未來的預測。

28
「冷戰結束，你們贏了」

1980年代，索尼的盛田昭夫忙著跑遍世界各地，與季辛吉共進晚餐，在奧古斯塔高爾夫球俱樂部打球，與三邊委員會[*1]（Trilateral Commission）等組織裡的全球精英密切交流。在全球舞台上，大家把他視為商業先知，以及日本這個正在崛起的世界經濟強國代表。盛田昭夫覺得「日本第一」是一個很容易相信的概念，因為他正身歷其境。拜索尼的隨身聽及其他的消費電子品所賜，日本蓬勃發展，盛田昭夫也成了富豪。

接著，1990年，危機來襲。日本的金融市場崩盤了，經濟陷入嚴重衰退。不久，東京股市的交易價格暴跌至1990年的一半，東京的房地產跌得更厲害，日本的經濟奇跡似乎戛然而止。與此同時，美國在商業與戰爭方面都在復興。短短幾年內，「日本第一」的概念似乎不再精確。日本經濟低迷的研究案例，是曾被譽為日本工業實力典範的半導體業。

當時69歲的盛田昭夫眼睜睜地看著日本的財富與索尼的股價下滑。他知道日本這個國家的問題比其金融市場更為嚴重。在那之前的十年裡，盛田昭夫一直告誡美國人，他們需要提高產品的品質，而不是把焦點放在金融市場的「金錢遊戲」上。然而，隨著日本股市的崩盤，該國自詡的長期思維看起來也不再那麼有遠見了。日本表面上的主導地位，是建立在政府支持的過度投資上，但這種基礎是[1]不可能長久延續下去的。廉價資金讓半導體業者可以持續興建新廠，但也導致廠商比較少考慮獲利，只在乎產出。即使美光與南韓三星等成本較低的廠商[2]削價競爭，日本最大的半導體公司仍在DRAM生產上加倍下注。

日本媒體也意識到半導體業有過度投資的問題，報紙標題警告「不計後果的投資競爭」及「他們停不了的投資」。日本記憶體晶片廠的執行長明知新廠沒有盈利，卻依然不斷興建新廠。日立的一位高管坦言：「如果你開始擔心」過度投資，

3

「晚上就睡不著覺了」。只要銀行繼續放貸，執行長繼續花錢建廠比承認他們找不到獲利方法來得容易。1980年代，美國資本市場的利率很高，不像是一種優勢，但這種失去融資的風險幫美國公司時時提高警覺。日本的DRAM廠商如果也有葛洛夫那種偏執心態，或像辛普洛那樣瞭解大宗商品市場的波動，應該會受益良多。但他們都把資金傾注在同一市場中，這導致業者幾乎都賺不到大錢。

索尼在日本半導體業中是獨特的，它從來沒有重押在DRAM上，而是開發出創新的新產品，例如影像感測器的專門晶片。光子撞擊矽時，這些晶片會產生與光強度有關的電荷，讓晶片把影像轉換成數位資料。因此，索尼在引領數位相機革命方面處於有利的地位，該公司的影像感測晶片如今依然是世界一流的。即便如此，索尼

4

並未削減虧損部門的投資，所以1980年代初期的獲利能力開始大幅下滑。

日本的大型DRAM廠商大多沒有善用它們在1980年代的影響力來推動創新。1981年，在DRAM巨擘東芝，中階工廠管理者舛岡富士雄開發出一種新型的記憶體晶片。這種晶片與DRAM不同，即使在斷電後

5

仍可持續「記憶」資料。東芝忽視了這項發現，所以是英特爾把這種新型的記憶體晶片推向市場，這種晶片通常稱為「快閃記憶體」或NAND。

不過，日本晶片公司犯的最大錯誤，是錯過了個人電腦的崛起。日本沒有一家晶片巨擘能模仿英特爾轉型生產微處理器，或掌握個人電腦的生態系統。只有NEC一家日本公司真的嘗試過，但它在微處理器市場上只獲得極小的市占率。對葛洛夫與英特爾來說，從微處理器獲利是攸

關生死存亡的大事。日本的DRAM公司因為擁有龐大的市占率又沒什麼資金限制，而一直忽視微處理器的市場，直到為時已晚。因此，個人電腦革命的主要受益者是美國晶片公司。日本股市崩盤時，日本在半導體業的主導地位已經受到侵蝕。1993年，美國重新奪回半導體出貨量的冠軍寶座。1998年，南韓企業超越日本，成為全球最大的DRAM廠商，日本的市占率則從1980年代末期的90％，[6]

降到1998年的20％。

日本在半導體領域的雄心，支撐了該國不斷坐大的全球地位意識，但這個基礎如今看來相當脆弱。在《一個可以說NO的日本》中，石原慎太郎與盛田昭夫認為，日本可以利用晶片優勢來影響美國與蘇聯。但是戰爭最終在出乎意料的波斯灣戰場上爆發時，美國的軍力令多數的觀察家感到震驚。在數位時代的第一場戰爭中，有28國派兵去波斯灣，將伊拉克的軍隊逐出科威特，但日本拒絕加入這28國的行列。相反的，日本參與的方式是為聯軍提供資金，以及[7]

支持伊拉克的鄰國。當美國的鋪路雷射導引炸彈轟炸伊拉克的坦克縱隊時，日本這種金融外交顯得軟弱無力。

1993年盛田昭夫中風，造成嚴重的健康問題。他淡出了大眾的視線，在夏威夷度過餘生的大部分時間，並於1999年過世。盛田昭夫的合著者石原慎太郎始終堅稱，日本需要在世界舞台上確立自己的地位。他就像壞掉的唱盤一樣，一再老調重談，在出版《一個還是說NO的日本》（*The Japan That Can Say No Again*）幾年後，又出版《一個可以說NO的亞洲》（*The Asia That Can Say No*）。但是，對多數的日本人來說，石原慎太郎的觀點已經失去意義了。1980年代，他正確地預測到晶片會塑造軍事平衡，並界定技術的未來。但他錯誤地認為，這些晶片會在日本製造。1990年代，面對美國的復興，日本的半導體公司持續萎縮。日本挑戰美國霸權的技術基礎開始崩解。

與此同時，美國另一個僅剩的真正挑戰者也正走向崩潰。1990年，蘇聯的領導人戈巴契夫意識到，透過命令與「抄襲」戰略來克服技術落

後已經無望了，他正式到矽谷參訪。矽谷的科技大亨以沙皇等級的盛宴款待他。惠普的普克德與蘋果的史蒂夫．沃茲尼亞克（Steve Wozniak）坐在戈巴契夫的旁邊，與他共享美酒佳肴。戈巴契夫毫不掩飾他決定造訪加州灣區的原因。他在史丹佛大學的演講中宣稱：「未來的概念與技術都是在加州誕生的。」這正是奧加可夫元帥十多年來一直提醒蘇聯領導人的事情。

戈巴契夫承諾從東歐撤出蘇聯軍隊、結束冷戰，他希望美國拿技術出來作為交換條件。他會見美國的科技業高管時，鼓勵他們到蘇聯投資。戈巴契夫造訪史丹佛大學時，在校園裡與觀眾擊掌。「冷戰已經過去了，」他在史丹佛對聽眾說，「[8]我們別再爭論誰贏了。」

但究竟是誰贏了，以及為什麼贏了，其實很顯而易見。奧加可夫早在十年前就發現了這個趨勢，雖然當時他希望蘇聯能克服那趨勢。他就像蘇聯其他的軍事領導人一樣，隨著時間的推移，變得愈來愈悲觀。早在1983年，奧加可夫就曾私下告訴美國記者萊斯．蓋爾布（Les Gelb）：「冷戰結束了，你們贏了。」蘇聯的火箭威力一如既往地強大，蘇聯仍然有全球最大的核武庫。但它的半導體生產跟不上，電腦業落後，通訊與監控技術發展遲緩，如此衍生的軍事後果慘不忍睹。奧加可夫向蓋爾布解釋：「所有的現代軍力都建立在經濟創新、技術、經濟實力的基礎上。軍事技術是以電腦為基礎。在電腦方面，你們遠遠超越我們。在你們的國家，每個小孩[9]五歲開始就有電腦了。」

美國輕鬆擊地敗伊拉克後，強大的新戰鬥力成了全球有目共睹的焦點。這在蘇聯軍方與KGB內部引發了一場危機。他們覺得很尷尬，卻又不敢承認自己在武器方面處於多明顯的劣勢。蘇聯的國安領導者主導了一場政變，想推翻戈巴契夫，但政變在三天後宣告失敗。對一個曾經強大的國家來說，這是個可悲的結局，它無法接受自己軍力的衰退。俄羅斯的晶片業也面臨難堪的屈辱，1990年代一家晶片製造廠淪落到為麥當

勞的快樂兒童餐生產

玩具的內建晶片。冷戰結束了，矽谷贏了。

*1　國際性非政府組織，非黨派的討論性團體，目的是在美洲、歐洲、日本之間建立更緊密的合作關係。

第五部

積體電路，整合世界？

29

在台灣建立半導體產業

1985年，台灣位高權重的李國鼎部長請張忠謀到他的台北辦公室。這時距離李國鼎當初說服德州儀器來台灣建立第一座半導體廠，已過了近20年。在那之後的20年間，李國鼎與德儀的領導者建立了密切的關係。每次他前往美國都會拜會海格底與張忠謀，並說服其他的電子公司效仿德儀來台灣設廠。1985年，他聘請張忠謀來領導台灣的晶片業。「我們想在台灣推動半導體業的發展，」他告訴張忠謀，「告訴我，[1] 你需要多少錢。」

「全球化」一詞是在1990年代開始被普遍使用，然而晶片業從快捷半導體成立不久之後就開始依賴國際生產與組裝了。1960年代以來，台灣刻意融入半導體的供應鏈，以此提供就業機會、獲得先進技術、強化台美安全關係。張忠謀在台灣政府的大力支持下創立了台積電。1990年代，在台積電崛起的推動下，台灣的重要性開始增加。

1985年，台灣政府請張忠謀來領導台灣最頂尖的電子研究機構時，台灣是組裝半導體設備的亞洲領先國家之一（組裝工作包括測試國外製造的晶片，並把晶片裝在塑膠或陶瓷封裝上）。台灣政府曾嘗試從美國的RCA公司取得半導體製造技術的授權，並在1980年成立晶片製造廠聯華電子（UMC），但該公司的能力 [2] 仍遠遠落後於先進技術。台灣有許多半導體業的就業機會，但只分到一小部分的利潤，因為晶片業的多數利潤是由設計及生產最先進晶片的公

司獲得。像李國鼎這樣的官員知道，只有當台灣不再只是組裝其他地方設計及製造的元件時，台灣的經濟才會持續成長。

1968年，張忠謀第一次造訪台灣時，台灣正與香港、南韓、新加坡、馬來西亞競爭。到了1980年代，三星與南韓的其他大財團正把大量資金投入最先進的記憶體晶片。新加坡與馬來西亞正試著複製南韓的轉變（從組裝半導體變成製造半導體），但成效不如三星。台灣必須不斷地提升能力，才能維持它在半導體供應鏈最底層的地位。

最大的威脅是來自中國。在台灣海峽的對岸，毛澤東於1976年過世，降低了中國即將犯台的威脅。但中國現在構成了一種經濟挑戰。毛澤東過世後，新的領導階層為了讓中國融入全球經濟，開始吸引一些當初台灣用來脫貧的基礎製造與組裝工作。由於中國的工資較低，又有成千上百萬的鄉下人渴望放棄勉強為生的農業，轉往工廠工作，所以中國進入電子組裝業可能導致台灣退出市場。台灣官員向來訪的德儀高層抱怨道，中國的威脅[3]相當於「經濟戰」。台灣不可能在價格上與中國競爭，必須自己生產先進技術。

於是，李國鼎找上了當初幫忙把半導體組裝帶來台灣的張忠謀。張忠謀在德儀工作20多年後，於1980年代初期離開德儀。他後來說，他之所以離開德儀，是因為被排除在執行長接班人選之外，[4]「被派到不重要的職位」。他花了一年在紐約經營通用儀器公司（General Instrument），但因為對工作不滿意，很快就辭職了。他在第一線參與建立全球的半導體業，德儀超高效率的製程是他在提高良率方面不斷實驗及運用專業的成果。他想在德儀擔任的職位（執行長），可讓他躋身整個晶片產業的領導者，與諾伊斯或摩爾的地位相當。因此，當台灣政府打電話請他為台灣打造晶片業，並開出空白支票要資助這項計畫時，張忠謀覺得這個提議很有意思。當年54歲的張忠謀正在尋找新的挑戰。

雖然多數人說張忠謀是「回到」台灣，但他與台灣最緊密的關連，

是他幫忙設立的德儀組裝廠，以及台灣自己宣稱的中國正統政權：中華民國政府。張忠謀是在中華民國政府統治中國的時期，在中國成長，但他逃離中國近40年後才再度造訪。直到1980年代中期，張忠謀居住最久的地方是德州，他因在德儀從事國防相關工作而握有美國的安全許可資格。可以說，他比較像德州人，而不是台灣人。他後來回憶道：「[5]台灣對我來說是個陌生的地方。」

然而，為台灣打造半導體業，聽起來是令人振奮的挑戰。台灣政府聘請他擔任工業技術研究院的院長，使他處於台灣晶片開發的核心。政府提供資金的承諾，也使這項任務顯得更有吸引力。身為台灣半導體業的實質負責人，張忠謀除了聽命於李國鼎等部長以外，不必對任何人負責，而李國鼎也承諾給他[6]很大的發揮空間。德儀從未開過這種空白支票，張忠謀知道他需要很多資金，因為他的商業計畫是以一個激進的概念為基礎。那個概念要是成功的話，將會顛覆電子業，並讓他與台灣掌控全球最先進的技術。

早在1970年代中期，張忠謀還在德儀工作時就思索過一個概念：創立一家半導體公司，生產客戶設計的晶片。當時，像德儀、英特爾、摩托羅拉等晶片公司大多生產自己設計的晶片。1976年3月，張忠謀向德儀的其他高層建議這種新的商業模式。他向德儀的同仁解釋，「低成本的運算力，將打開大量的新應用，是[7]目前的半導體所無法支援的」，為晶片創造出新的需求來源。晶片很快就會運用到所有領域，從手機到汽車再到洗碗機，無一不包。他認為，生產這些產品的公司缺乏生產半導體的專業知識，所以他們比較希望把晶片製造外包給專業廠商。此外，隨著技術的進步與電晶體的縮小，製造設備與研發的成本將會提高。只有生產大量晶片的公司才具有成本競爭力。

然而，德儀的其他高階主管並未被他的概念說服。當時是1976年，每家設計晶片的公司都有晶圓製造廠，但張忠謀張預測「無晶圓廠」（fabless）的公司很快就會出現。那時德儀的獲利很好，所以押注在還

不存在的市場是很冒險的做法，所以那個概念後來不了了之。

但張忠謀從未忘記晶圓代工的概念。他認為，隨著時間的推移，這種概念正漸趨成熟，尤其是在康維與米德的晶片設計革命，使晶片設計與晶片製造的分離變得更加容易以後（他們認為那將為半導體業創造出一個古騰堡時刻）。

台灣也有一些電子工程師抱持類似的概念。1980年代中期，協助管理台灣工研院的史欽泰曾邀請米德來台灣分享他對半導體業的古騰堡構想。因此，晶片設計與晶片製造分離的概念，在李國鼎開出空白支票請張忠謀來打造台灣的晶片業以前，[8]已經在台灣醞釀好幾年了。

李國鼎履行了承諾，為張忠謀起草的商業計畫籌集資金。台灣政府為台積電提供了48%的創業資金，唯一要求的條件是張忠謀必須找一家外國晶片公司提供先進的生產技術。德儀與英特爾的前同事都拒絕了張忠謀，摩爾告訴他：「你提過很多好主意，[9]但這個概念不算。」不過，張忠謀說服了荷蘭的半導體公司飛利浦出資5800萬美元，並轉移其生產技術及授予智慧財產權，以換取[10]台積電27.5%的股份。

其餘的資金是向台灣的富豪募集，他們是被台灣政府「要求」投資的。張忠謀解釋：「通常是政府的部會首長打電話給台灣的企業家，請他投資。」政府請台灣幾個最富有的家族出資，這些家族擁有專門從事塑膠、紡織、化工的公司。一位企業家跟張忠謀會面三次後，拒絕投資，台灣的行政院長直接打電話給那位吝嗇的企業家，提醒他：「過去20年，政府一直對你很好，你最好現在就為政府做點什麼。」張忠謀成立晶片代工廠的支票很快就到位了。政府也為台積電提供豐厚的稅賦優惠，確保該公司有足夠的資金做投資。打從創立之初，台積電就不是一家真正的民營企業，而是[11]

台灣政府的專案。

台積電早期成功的一個關鍵因素，是[12]與美國晶片業的緊密關連。該公司的多數客戶是美國的晶片設計公司，許多高層員工曾在矽谷工作。1991年至1997年，張忠謀聘僱德儀的另一位前高階主管唐．布魯克（Don Brooks）擔任台積電的總經理。布魯克回憶道：「向我彙報的下屬，亦即我下面兩級的員工，大多有在美國工作的經驗。他們在美國時，曾在摩托羅拉、英特爾或德儀工作過。」1990年代的大部分時間，台積電有一半的業績是來自美國公司。與此同時，台積電的多數高階主管都在美國的大學拿過博士學位。

這種共生關係[13]讓台灣與矽谷雙雙受惠。在台積電出現以前，幾家主要位於矽谷的小公司曾嘗試在晶片設計方面開創事業，它們把晶片製造外包，避免自己建造晶圓廠的成本。這些「無晶圓廠」的公司有時能說服有閒置產能的大型晶片製造商來生產他們的晶片。然而，大型的晶片製造商有自己的生產計畫，這些小公司面對大廠時一直處於次要地位。更糟的是，它們始終面臨一種風險：生產夥伴可能竊取他們的設計概念。而且各大晶片製造商的製程略有不同，它們也必須掌握那些差異。不建造晶圓廠可以大幅降低創業成本，但依賴競爭對手製造晶片始終是一種有風險的商業模式。

台積電的成立，讓所有的晶片設計公司有一個可靠的合作夥伴。張忠謀承諾台積電永遠不會設計晶片，只專注於製造晶片。台積電不與客戶競爭，只要客戶成功，台積電就會成功。十年前，米德預言晶片製造業會出現古騰堡時刻，但有一個關鍵差異。當時的德國印刷商曾試圖壟斷印刷業，但失敗了。他無法阻止他的技術在歐洲迅速傳播，讓作家與印刷店都受益。

在晶片業，張忠謀的代工模式藉由降低創業成本，促成了數十家新「作者」，也就是無晶圓廠的晶片設計公司，這些公司把運算力嵌入各種設備中，藉此改變了科技業。然而，「創作」的普及與數位印刷術的

壟斷是一起發生的。晶片製造的規模經濟需要不斷的產業整合。哪家公司生產的晶片量最多，它就有內在的優勢，可提升良率，並把資本投資的成本分攤給更多的客戶。台積電的事業在1990年代蓬勃發展，其製程不斷地改進。張忠謀想成為數位時代的古騰堡，最後他的影響力是更加無比地強大深遠。當時幾乎沒有人意識到，張忠謀、台積電，以及台灣正逐漸主導世界最先進晶片的生產。

30

「所有人都必須製造半導體」

1987年，張忠謀創立台積電那年，在台積電西南方幾百英里外的地方，當時還不為人知的工程師任正非成立了一家電子貿易公司，名叫華為。台灣是個抱負遠大的小島，它不僅與全球最先進的晶片公司有深厚的關連，還有成千上萬名曾在史丹佛與柏克萊接受教育的工程師。相較之下，中國有龐大的人口，但貧困又技術落後。不過，新的經濟開放政策使貿易蓬勃發展，尤其是透過香港進口或走私貨物。華為的發源地深圳，就坐落在香港邊境的另一端。

在台灣，張忠謀的目標是製造全球最先進的晶片，並把矽谷巨擘變成客戶。在深圳，任正非是從香港購買廉價的電信設備，然後以較高的價格在中國各地出售。他交易的設備是使用積體電路，但是想自己生產晶片似乎是很荒謬的想法。1980年代，在電子工業部部長（後來的國家主席）江澤民的領導下，中國政府把電子產品列為優先產業。當時，中國國產最先進、應用最廣的晶片是DRAM，其儲存量與英特爾在1970年代初期向市場推出的第一款DRAM[1]大致相同，由此可見中國的技術落後先進科技十幾年。

要不是共產黨的統治，中國可能會在半導體業扮演更大的角色。積體電路發明時，中國擁有許多幫助日本、台灣、南韓吸引美國半導體投資的要素，例如龐大的低成本勞力、受過良好教育的科學精英。然而，中共於1949年獲得政權後，對外國關係抱持懷疑態度。對張忠謀這樣的人來說，在史丹佛大學完成學業後要是回到中國，不只會面臨貧困，可能還會遭到監禁甚至喪命。革命前中國大學的許多優秀畢業生，最終在台灣或加州工作，為中國的主要競爭對手打造了電子實力。

與此同時，中國的共產黨政府犯下了跟蘇聯一樣的錯誤，但形式上

更為極端。早在1950年代中期，中國官方就把半導體設備列為科研重點。不久，他們就開始號召北京大學與其他科學中心的研究人員貢獻技術，其中包括革命前曾在柏克萊、麻省理工學院、哈佛或普渡大學求學的科學家。1960年，中國在北京成立第一個半導體研究所。約莫同一時間，中國開始製造簡單的電晶體收音機。1965年，在諾伊斯與基爾比發明積體電路五年後，中國的工程師製造出[2]第一塊積體電路。

然而，毛澤東的激進主義導致中國無法吸引外國投資或做任何先進的科學研究。中國製造出第一塊積體電路的隔年，毛澤東把中國帶入了文化大革命，他主張破壞社會主義平等的特權，就是來自專業知識。毛澤東的黨羽對中國的教育系統開戰，成千上萬名科學家與專家被迫下鄉務農，還有許多人遭到殺害。毛澤東在「在光輝的七二一指示」中強調[*1]：「學制要縮短，教育要革命，要無產階級政治掛帥……要從有實踐經驗的工人農民中間選拔學生，到學校學幾年以後，又[3]回到生產實踐中去。」

以教育低落的員工來打造先進產業，這種想法簡直是荒謬。更重要的是，毛澤東又把外國技術與思想阻隔在外。美國的限制阻止了中國購買先進的半導體設備，但毛澤東又自己增添了禁運。他希望中國完全自立自強，並指責政治對手試圖以外國零組件來污染中國的晶片業，即便中國根本無法自產許多先進的零組件。他的宣傳機器呼籲大家，支持「為電子業的獨立與自力發展，[4]進行驚天動地的群眾運動」。

毛澤東不只對外國晶片抱持懷疑的態度，有時他也擔心所有的電子產品本質上都是反社會主義的。他的政治對手劉少奇贊同「現代電子技術」將「為我們的工業帶來大躍進」，並「使中國成為第一個擁有一流電子技術的新工業化社會主義最強國」。毛澤東總是把社會主義與煙囪聯想在一起，所以他抨擊了這個想法。毛澤東的一位支持者認為，把電

子產品視為未來是「反動的」，因為在中國打造一個社會主義的烏托邦時，顯然

5

「只有鋼鐵業才應該發揮主導作用」。

在1960年代，毛澤東贏了中國半導體業的政治鬥爭，刻意淡化其重要性，切斷中國與外國技術的連結。中國的科學家大多痛恨毛澤東毀了他們的研究與生活，因為毛澤東把他們送到農場去研究無產階級政治，而不是半導體工程。一位被迫下鄉的中國著名光學專家，在等待毛澤東的激進主義平息期間，靠粗糧、水煮白菜、偶爾烤蛇，熬過了農村再教育。當中國的一小批半導體工程師在中國的土地上耕耘時，毛派份子鼓吹中國的工人：「

6

所有人都必須製造半導體。」彷彿中國每個無產階級的成員都可以在家裡自製晶片似的。

中國有一小塊領土逃過了文化大革命的浩劫。香港當時因殖民條款，仍由英國人暫時統治。當多數的中國人認真地背誦毛語錄時，香港的工人正在俯瞰九龍灣的快捷工廠裡勤奮地組裝矽元件。在幾百英里外的台灣，多家美國晶片公司的工廠雇用了數千名工人，他們的工作以加州的標準來看，工資算很低，但已經比下鄉務農好多了。正當毛澤東把中國為數不多的技術勞工送到農村去接受社會主義再教育時，台灣、南韓，以及整個東南亞的晶片業正把農民拉出農村，讓他們在製造廠中做更好的工作。

1970年代初期，隨著毛澤東的健康惡化，文化大革命開始式微。共產黨領導人終於把科學家從農村召回，他們試著在實驗室裡收拾殘局。然而，中國的晶片業在文化大革命以前就遠遠落後矽谷，如今更是遠遠落後鄰國。在中國陷入革命混亂的十年間，英特爾發明了微處理器，日本搶占了大部分的全球DRAM市場。中國除了騷擾最聰明的公民以外，什麼也沒做。因此到了1970年代中期，中國的晶片業深陷於愁雲慘霧的狀態。「我們生產的每千個半導體中，只有一個是合格的。」1975年，一位黨領導者抱怨道，「

7

報廢太多了。」

1975年9月2日，巴丁抵達北京。20年前，他因發明電晶體而與蕭克利及布萊頓一起榮獲第一座諾貝爾獎。1972年，他成為唯一兩度榮獲諾貝爾物理學獎的人，這次獲獎是因為他在超導理論的研究。在物理界沒有人比他更出名，但巴丁仍是1940年代末期那個被蕭克利強行蓋過鋒芒的謙謙君子。臨近退休時，他投入更多的時間為美國與外國的大學建立關係。1975年，美國著名的物理學家組成代表團造訪中國時，巴丁也應邀參加了。

隨著文化大革命接近尾聲，中國的領導人試圖拋開革命熱情，與美國人交好。巴丁造訪中國時，毛澤東重病，翌年過世。巴丁的代表團讓中國人想起，中美友誼可為中國提供技術。這次美國代表團的訪問，象徵著中國自文化大革命以來有多大的變化。10年前，這位諾貝爾獎得主應該會被譴責是反革命分子，不會受到北京、上海、南京、西安的頂尖研究機構歡迎。不過即便是現在，毛主義留下的遺毒仍在。美國人被告知，中國科學家之所以沒有發表研究成果，是因為他們

8

反對「自我榮耀」。

巴丁從他與蕭克利的共事過程中，瞭解到一些科學家對自我榮耀的癡迷。蕭克利擅自把發明電晶體的功勞全部歸功於己，他是傑出的科學家，卻是一位失敗的企業家。他的例子顯示，資本主義與自我榮耀之間的關連，並不像毛主義學說所指的那麼簡單。巴丁告訴妻子，儘管中國對外號稱人人平等，但他發現中國社會的組織很嚴格，階級森嚴。在矽谷找不到像那些監管中國半導體科學家的

9

政治官僚。

巴丁與同行離開中國時，對中國的科學家印象深刻，但中國在半導體製造方面的雄心似乎是無望的。中國完全錯過了亞洲的電子革命。從香港到台灣，從檳城到新加坡，矽谷的晶片公司雇用成千上萬的工人，他們往往是華裔。1960年代中國一直在譴責資本家，而鄰國則是拼命地

吸引資本家。1979年的一項研究發現，中國幾乎沒有商業上可行的半導體生產，[10]全中國只有1500台電腦。

毛澤東在巴丁造訪中國的隔年過世。幾年後，鄧小平取代舊的獨裁者，承諾以「四個現代化」政策來改造中國。不久，中國政府宣布「科學技術」是「四個現代化的關鍵」。技術革命正在轉變世界的其他地方，中國的科學家意識到晶片是這場變革的核心。1978年3月召開的全國科學大會，正值鄧小平鞏固權力之際。那場大會把半導體設為議程的核心，希望中國能運用半導體的進步，來幫忙開發[11]新的武器系統、消費電子與電腦。

政治目標很明確：中國需要自己的半導體，不能依賴外國人。《光明日報》在1985年定調，號召讀者摒棄「『第一台機器進口，第二台機器進口，第三台機器進口』的套路」，變成「『第一台機器進口，第二台中國製造，[12]第三台機器出口』」。這種對「中國製造」的癡迷，根植於共產黨的世界觀，但中國在半導體技術方面已經落後太多了，那是毛澤東的群眾動員與鄧小平的命令都無法輕易改變的。

中國呼籲大家做更多的半導體研究，但是單靠政府法令，並無法催生科學發明或可行的產業。政府堅稱晶片有戰略重要性，這導致中國官員試圖控制晶片製造，使該產業深陷官僚主義。當任正非這種新興的企業家在1980年代末期開始創立電子企業時，他們別無選擇，只能依賴外國的晶片。中國的電子組裝業是建立在國外的矽基礎上，那些矽晶片是從美國、日本進口的，而由台灣進口的矽晶片也愈來愈多。中國共產黨仍認為台灣是「中國」的一部分，但台灣並不受其控制。

*1　七二一指示是1968年7月21日毛澤東在《人民日報》關於《從上海工具機廠看培養工程技術人員的道路（調查報告）》的編者按清樣中加寫的一段話，這段話對中華人民共和國高等教育體制產生了重大的影響。

31

「與中國人分享上帝的愛」

張汝京只是想[1]「與中國人分享上帝的愛」。《聖經》中並未提到半導體，但張汝京卻以傳教士般的熱情，把先進的晶片製造技術帶到了中國。張汝京是虔誠的基督徒，生於南京，長於台灣，曾在德州擔任半導體工程師。2000年，他說服中國政府提供他巨額補貼，讓他在上海建立半導體代工廠。那座工廠完全按照他的規格設計，甚至[2]還有一座教堂，這要感謝原本中國抱持無神論的政府給予特別的許可。只要張汝京最終為中國帶來現代的半導體製造，中國的領導人願意一反常態在反對宗教的立場上做出讓步。然而，即使有政府的全面支持，張汝京依然覺得他是以小蝦米之姿對抗半導體業的大鯨魚，尤其是台灣的台積電。

晶片製造的版圖在1990年代與2000年代發生了巨變。1990年，美國的晶圓廠生產的晶片占全球總量的37%，到了2000年，這個數字降至19%，到了2010年，[3]更進一步降至13%。日本在晶片製造業的市占率也大幅崩跌。韓國、新加坡、台灣都為本國的晶片業投入大量的資金，並迅速提高產量。例如，新加坡政府與德儀、惠普、日立等公司合作，資助晶圓製造廠與晶片設計中心，在新加坡建立了一個生氣勃勃的半導體業。新加坡政府也試圖仿效台積電，建立特許半導體（Chartered Semiconductor）[4]做晶圓代工，但該公司的表現始終不如台灣的競爭對手。

韓國的半導體業表現得更好。1992年，三星取代日本的DRAM廠商，成為世界領先的記憶體晶片製造廠後，在1990年代後面的時間迅速

成長。三星因為有政府的正式支持，再加上韓國政府要求韓國銀行提供信貸的非官方壓力，在DRAM市場上擊退了來自台灣與新加坡的競爭。銀行的融資很重要，因為三星的主要產品（DRAM晶片）需要強大的財力才能達到每個連續的技術節點，即使在產業陷入低迷時，也必須持續支出。三星電子的一位高層解釋：DRAM市場就像是[5]膽小鬼賽局[*1]。景氣好時，世界各地的DRAM公司都投入資金建造新廠，導致市場產能過剩，壓低價格。繼續投資的成本高得驚人，但停止投資的話，即使只停一年，也有可能把市占率拱手讓給競爭對手，所以沒有人想先讓步。在競爭對手被迫削減投資後，三星仍有資金繼續投資，於是它的記憶體晶片市占率不斷成長，[6]勢不可擋。

中國最有可能顛覆半導體業，因為中國在組裝電子設備方面角色日益重要，而那些電子設備裡都裝了晶片。到了1990年代，距離中國第一次投入半導體生產、卻不幸被毛澤東的激進主義打斷，已經過了幾十年。這時的中國已經變成世界工廠，上海、深圳等城市成為電子組裝中心，做著幾十年前推動台灣經濟發展的工作。然而中國的領導人知道，真正的商機在那些驅動電子產品的元件，尤其是半導體。

1990年代，中國的晶片製造力遠遠落後台灣與韓國，更遑論美國了。雖然中國的經濟改革正如火如荼地展開，但走私者發現，把晶片裝滿行李箱，從香港非法帶進中國，[7]還是有利可圖。不過，後來隨著中國的電子業日益成熟，走私晶片開始變得不像製造晶片那麼有吸引力了。

張汝京覺得把晶片帶到中國是他的人生使命。1948年，他生於南京的一個軍人家庭，在中共取得政權後，全家逃離中國抵達台灣，當時他年僅一歲。他在台灣的眷村裡成長，眷村裡的人把台灣視為暫時的居留地，他們預期中華人民共和國將會崩解。然而，這個預期遲遲沒有實

現，使張汝京這樣的人始終處於一種認同危機的狀態——他們認為自己是中國人，卻生活在一個政治上愈來愈遠離自己出生地的島上。大學畢業後，張汝京赴美，在紐約州水牛城取得碩博士學位後到德儀任職，與基爾比共事。他變成經營晶圓廠的專家，管理德儀從美國到日本、新加坡、

8

義大利等地的工廠。

中國政府資助國內半導體業的建設，但

9

早期的成果大多不太理想。有一些工廠建在中國，例如中國的華虹與日本的NEC在上海成立一家合資企業。NEC從中國政府獲得豐厚的資金，條件是NEC必須

10

把技術引進中國。不過，NEC確保那家合資企業是由日本的專家掌權，中國的員工只能做基本的活動。一位分析師指出，「我們不能說這是中國的產業」，那只是一家

11

「位於中國的晶圓廠」。中國從合資企業中幾乎沒獲得什麼專業知識。

2000年，另一家晶片公司宏力半導體在上海成立。這家公司也有類似的組合，混合了外國投資、國家補貼，以及失敗的技術轉移。宏力半導體是中國國家主席江澤民的兒子江綿恆與台塑集團董事長王永慶之子王文洋

12

合資成立的。由於台灣在半導體業很成功，吸引台灣人加入中國的晶片業是很合理的想法。此外，有中國國家主席的孩子參與其中，更有助於獲得政府支持。該公司甚至以每年40萬美元的酬勞聘請小布希總統的胞弟尼爾．布希（Neil Bush）來擔任

13

「商業策略」顧問。這個星光熠熠的領導團隊，或許幫宏力半導體抵擋了一切政治麻煩，但公司的技術落後，

14

又難以獲得客戶，在中國代工業的市占率從未超過一小部分，在全球的

市占率更是微乎其微。

如果說有人能在中國打造晶片業，那非張汝京莫屬了。他不必依賴裙帶關係或外國協助，打造一家世界級晶圓廠所需的所有知識都已經在他的腦子裡了。在德儀工作期間，他為公司在世界各地開設了許多新廠，所以他何不在上海做同樣的事呢？2000年，他創立了中芯國際（SMIC），從高盛、摩托羅拉、東芝等國際投資者籌集了[15]逾15億美元的資金。一位分析師估計，中芯國際有一半的創業資金是[16]來自美國投資者。張汝京以這些資金雇用了數百名外國人來經營中芯國際的晶圓廠，其中[17]至少有400名是來自台灣。

張汝京的策略很簡單：照著台積電的方式做。在台灣，台積電雇用它能找到的最佳工程師，最好是曾在美國或其他先進晶片公司任職的工程師。台積電也會購買它買得起的最佳機台，不斷地以業界的最佳做法來培訓員工。而且台積電也善用了台灣政府提供的所有賦稅與補貼優惠。

中芯國際完全依循這套模式，積極從海外晶片製造商吸收人才，尤其是從台灣招募。在成立最初十年的大部分時間，中芯國際有三分之一的工程人員來自海外。分析師傅道格（Doug Fuller）指出，2001年中芯國際雇用了650名本地工程師；從海外招募了393名工程師，大多來自台灣與美國。到了2010年底，約三分之一的工程師是從海外招募。中芯國際甚至打出一句口號：「一個老員工帶來兩個新員工。」強調中芯國際需要經驗豐富的外來人才來[18]幫助本地工程師學習。中芯國際的本地工程師學得很快，不久就讓外界覺得他們的能力不錯，開始有外國的晶片製造商來挖角。中芯國際之所以能把技術落實在國內，都要歸功於那些曾在國外任職的人才。

中芯國際就像中國其他的晶片新創企業一樣，也獲得政府的大力支持，例如免徵五年的企業所得稅；在中國銷售的晶片

19

可減銷售稅。中芯國際充分利用這些效益，但起初並不依賴這些好處。其他的競爭對手喜歡把焦點放在雇用更多的政要子弟，而不是專注於製造品質；張汝京跟他們不一樣，他盡力提高產能，

20

採用接近頂尖的技術。到了2000年代末期，中芯國際在技術上僅落後全球最頂尖的企業兩年，可望成為

21

世界一流的代工企業，或許最終還可能對台積電構成威脅。張汝京不久就獲得一些合約，為前雇主德儀等業界領導者製造晶片。2004年，中芯國際於紐約證交所掛牌上市。

台積電面臨著來自東亞數國代工廠的競爭。新加坡的特許半導體、台灣的聯華電子與世界先進，以及2005年進入晶圓代工業的韓國三星，也與台積電搶著生產其他地方設計的晶片。這些公司大多獲得政府的補貼，但這使晶片生產變得更便宜，受惠的是他們服務的無廠半導體設計業者（大多是美國業者）。與此同時，這種無晶圓廠的公司正處於推出一種革命性新產品的早期階段，這種新產品內充滿了複雜的晶片：智慧型手機。把晶片製造外移降低了製造成本，也激發了更多的競爭。消費者因低價而受惠，又可以享有以前所無法想像的裝置。這不正是推行全球化的初衷嗎？

*1 這是賽局理論的一個概念。在這個賽局模型中，兩名車手沿著一條直線，面向彼此，驅車而行。兩車相撞前，先轉向的一方是「膽小鬼」，另一方則勝出。這個模型的邏輯是「不要命的最大」，因為如果雙方放任兩車相撞，最終是兩敗俱傷。所以，誰能堅持直行到最後、逼迫對方先轉彎，誰就是贏家。

32

微影製程戰

1992年，約翰．卡拉瑟斯（John Carruthers）坐在加州英特爾總部的會議室裡，他沒想到向英特爾的執行長葛洛夫要2億美元竟然那麼容易。身為英特爾研發部門的負責人，卡拉瑟斯很習慣做技術上的豪賭。有些賭注押對了，有些賭注泡湯了，但英特爾工程師押對寶的機率和業界其他人士差不多。到了1992年，英特爾再次成為全球最大的晶片製造商，主要是因為葛洛夫決定把英特爾的營運重心放在個人電腦的微處理器上。這時的英特爾有充裕的現金，也致力讓摩爾定律延續下去。

然而，卡拉瑟斯的要求遠遠超出了一般的研發專案。卡拉瑟斯與業界的所有人都知道，下一代半導體所需的電路愈來愈小，現有的微影成像技術很快就無法產出那麼精密的電路了。微影成像公司正推出使用深紫外光的機台，波長是肉眼看不見的248或193奈米，但不久晶片製造商就會要求更高的微影成像精密度，卡拉瑟斯想鎖定波長為13.5奈米的「極紫外光」（EUV）。波長愈小，可刻在晶片上的細節愈小。只是有個問題：多數人認為極紫外光是不可能量產的。

葛洛夫懷疑地問道：「你的意思是說，你要把錢花在一個我們還不知道是否管用的東西上？」卡拉瑟斯回他：「是的，那叫研究。」葛洛夫轉向仍在英特爾擔任顧問的前執行長摩爾，問道：「摩爾，你會怎麼做？」摩爾問道：「葛洛夫，你還有別的選擇嗎？」答案很明顯：沒有。晶片業非得學習使用更小的波長來做微影成像不可，不然電晶體就無法再繼續縮小，摩爾定律也將停止。那樣的結果將會重創英特爾的事業，對葛洛夫來說也是一大恥辱。於是，他給了卡拉瑟斯2億美元[1]去開發EUV微影成像技術。最終，英特爾將在研發上投入數十億美元，又額外投資數十億美元在學習如何使用EUV來蝕刻晶片。英特爾從未打算製造自己的EUV設備，但它需要確保至少有一家全球頂尖的微影成像

公司可在市場上推出EUV設備，這樣英特爾才有機台可以蝕刻愈來愈小的電路。

自從萊斯羅普在美國的軍事實驗室裡把顯微鏡顛倒過來以來，微影成像技術的未來從未像1990年代時那樣受到質疑。當時的微影成像產業面臨著三大問題：工程、商業、地緣政治。在晶片製造的早期，電晶體很大，微影成像機所用的光波長度幾乎無關緊要。但後來摩爾定律已經進展到，光波長度（幾百奈米，因顏色不同而異）足以影響蝕刻電路的精度。到了1990年代，最先進電晶體的衡量是以幾百奈米（十億分之一米）為衡量單位，但這時大家已經可以想像以後會出現更小的電晶體，精密度小到只有幾十奈米。

研究人員大多認為，生產這種規模的晶片，需要更精確的微影成像機，才能對光阻劑曝光，並在矽片上蝕刻圖案。一些研究人員試圖使用電子束來蝕刻晶片，但電子束微影成像技術的速度永遠不夠快，無法量產。還有一些人是把賭注押在X光或極紫外光上，這兩種光分別與不同的光阻劑發生反應。在微影成像專家齊聚的年度國際會議上，科學家針對哪種技術會勝出展開了辯論。一位與會者描述，那就好像幾個相互競爭的工程師陣營爆發了[2]「微影製程戰」。

然而，這場戰爭（尋找下一種對矽晶圓曝光最好的光束），只是當時為了微影成像技術的未來而展開的三場競賽之一。第二場爭戰是商業上的：看哪家公司可以製造出下一代的微影成像機。開發新型微影成像設備的巨大成本，導致這個產業日益集中。一家或頂多兩家公司將主導整個市場。在美國，GCA已經破產；由珀金埃爾默衍生出來的微影成像公司矽谷集團（Silicon Valley Group）則遠遠落後市場的領先者Canon與Nikon。美國的晶片製造商成功抵禦了1980年代來自日本的挑戰，但美國的微影設備製造商還是落敗了。

Canon與Nikon唯一真正的競爭對手，是規模較小但正在成長的荷蘭公司ASML。1984年，荷蘭電子公司飛利浦把內部的微影成像部門拆

分出去，成立了ASML。那次拆分正好碰到晶片價格暴跌，所以時機抓得很糟（GCA就是被那次價格暴跌拖垮的）。此外，距離荷蘭與比利時邊境不遠的費爾德霍芬（Veldhoven），似乎也不太像世界級的半導體公司可能設址的地方。歐洲雖是主要的晶片生產區，但明顯落後矽谷與日本。

1984年，荷蘭工程師弗里茲．范霍特（Frits van Hout）剛取得物理學的碩士學位就加入ASML，當時公司的員工還問他是真的很想來，[3]還是別無選擇了。范霍特回憶道，當時ASML除了與飛利浦有關連以外，[4]「既沒有設施，也沒有錢」，為微影成像設備建造龐大的內部製程根本不可能。所以ASML決定使用從世界各地的供應商精心採購的元件來組裝系統。關鍵元件依賴其他公司有明顯的風險，但ASML學會了管控這些風險。日本的競爭對手試圖自己製造一切，ASML則是採購市場上最好的元件來組裝。當ASML開始專注開發EUV機台時，它把不同來源的元件整合在一起的能力反而成了最大的優勢。

令人意外的是，ASML的第二個優勢竟然是它位於荷蘭的地理位置。1980年代與1990年代，外界認為ASML在日美貿易爭端是中立的。美國公司把它視為取代Nikon與Canon的可靠選項。例如，當美國的DRAM新創公司美光想買微影成像機台時，它是向ASML購買，而不是依賴兩大日本供應商之一，因為那兩大日商都與美光的日本DRAM競爭對手[5]有深厚的關係。

ASML從飛利浦拆分出來的歷史，也以令人驚訝的方式促成了ASML與台積電的深厚關係。飛利浦曾是台積電創立時的主要投資者，它把製程技術與智慧財產權轉給了台積電這家剛創立的代工廠。這為ASML創造了一個內建市場，因為台積電的晶圓廠就是根據飛利浦的製程設計的。1989年台積電的晶圓廠意外發生大火，那場火災也幫了ASML一

把，促使台積電添購了19台新的微影機台，費用由火險理賠承擔。ASML與台積電都是從晶片業邊緣起步的小公司，但他們一起成長，[6]形成了合作關係。沒有這種合作，今天的運算發展就會停滯不前。

ASML與台積電的合作，成了1990年代的第三場「微影製程戰」。這是一場政治競賽，雖然鮮少業界或政府人士喜歡以那種方式思考。當時，美國正在慶祝冷戰結束並善用和平紅利。從技術、軍事或經濟實力來看，美國都稱霸世界，傲視群雄（不分盟友或對手）。一位有影響力的評論家宣稱，1990年代是[7]「單極時刻」，美國的主導地位毋庸置疑。波斯灣戰爭更是充分展現出美國驚人的技術與軍力。

1992年葛洛夫準備批准英特爾對EUV微影研究的第一筆重大投資時，很容易理解為什麼連晶片業這個從冷戰時期的軍工複合體中崛起的產業也認為政治不再重要了。那時管理學大師預言，未來將是一個[8]「無國界的世界」，在那個世界裡，塑造全球商業版圖的是獲利，而不是權力。經濟學家暢談全球化加速，執行長與政界人士都欣然接受這種新的知識潮流。與此同時，英特爾再次成為半導體業的領導者。它擊退了日本競爭對手，如今幾乎壟斷了個人電腦晶片的全球市場。自1986年以來，[9]英特爾每年都有獲利，那又何必擔心政治呢？

1996年，英特爾與美國能源部經營的幾個實驗室建立了合作夥伴關係，這些實驗室在光學及其他促成EUV技術的領域擁有專業知識。英特爾召集其他六家晶片製造商加入這個聯盟，但英特爾支付大部分的費用。一位參與者回憶道，英特爾在那個聯盟裡有如[10]「95%的大猩猩」。英特爾知道勞倫斯利佛摩國家實驗室（Lawrence Livermore National Laboratory）與桑迪亞國家實驗室（Sandia National Laboratories）的研究人員有製造EUV系統原型的專業，但那些研究人員把焦點放在科學上，而不是量產。

卡拉瑟斯解釋，英特爾的目標是「製造東西，而不僅是測量東西」，因此英特爾開始尋找一家公司來商業化及量產EUV機台。它後來的結論是，找不到任何美國公司可以做到。GCA已不復存在，而美國現有最大的微影成像公司矽谷集團（SVG）則是技術落後。美國政府對1980年代的貿易戰依然很敏感，不想讓Nikon、Canon等日本公司與美國的國家實驗室合作，雖然Nikon本來就認為EUV技術行不通。於是，[11]ASML成了僅剩的微影成像公司。

讓一家外國公司獲得美國國家實驗室最先進的研究成果，這個想法在華盛頓引發了一些問題。當時EUV技術在軍事上還沒有立即的應用，而且大家也不確定EUV是否可行。然而，如果EUV可行的話，美國將依賴ASML生產一種對所有運算都很關鍵的機台。除了國防部的一些官員以外，華盛頓[12]幾乎沒有人對此感到擔憂。多數人認為，ASML與荷蘭政府是可靠的合作夥伴。對政治領導人來說，更重要的是這項合作對就業的影響，[13]而不是地緣政治。美國政府要求ASML在美國設廠，為其微影成像機生產元件，為美國客戶提供產品，也雇用美國員工。然而，ASML的核心研發大多還是留在荷蘭。美國的商務部、國家實驗室，以及相關公司的主要決策者說，他們不記得政府決定放行這項合作案時，[14]政治考量有發揮多大的效果。

這項EUV合作案雖然拖延了很久，又有鉅額的成本超支，但還是有緩慢的進展。Nikon與Canon因為被排除在美國國家實驗室的研究之外，決定不製造自己的EUV機台，這使得ASML成為世界上唯一的生產商。與此同時， ASML在2001年收購了美國最後一家主要的微影成像公司SVG。SVG已遠遠落後業界的領導者，但還是有人再次質疑這筆交易是否符合美國的安全利益。DARPA與國防部數十年來一直資助微影成像產業，所以在DARPA與國防部內部仍有些官員反對這筆交易。國會也提

出擔憂，有三位參議員寫信給小布希總統說：「ASML最終將擁有美國政府[15]所有的EUV技術。」

這是無可否認的事實，但美國的實力正處於巔峰，華府多數人認為全球化是一件好事。美國政府的主流觀點是，鼓勵俄羅斯或中國等大國專注追求財富，而不是專注於地緣政治力量，可以擴大貿易與供應鏈的連結，促進和平。當時大家認為，宣稱美國的微影成像產業衰落將危及國家安全，就表示你的想法與這個全球化、緊密相連的新時代已經脫節了。與此同時，晶片業只想盡可能以最高的效率生產半導體。在美國已經沒有大型微影成像公司的情況下，他們除了押注在ASML以外，還有什麼選擇？

英特爾和其他的大型晶片製造商認為，把SVG賣給ASML對於開發EUV是很重要的一步，因此也對運算的未來有決定性的影響。英特爾的新任執行長克雷格．巴瑞特（Craig Barrett）在2001年表示：「這兩家公司不合併的話，美國開發新機台的途徑將會延誤。」隨著冷戰結束，剛上任的布希政府希望放鬆對所有商品的技術出口管制，除了有直接軍事用途的商品以外。政府把這項策略描述為「在最敏感的技術周圍築起高牆」，[16]而EUV並沒有上榜。

因此，下一代EUV微影機台主要是在國外組裝，雖然一些元件會繼續在康乃狄克州的工廠製造。任何人質疑美國如何保證取得EUV機台，都會遭到指責，說他們在全球化的世界中卻依舊固守著冷戰時期的思維。然而，那些談論技術在全球傳播的商業大師，其實曲解了其中的動態。生產EUV的科學網絡遍及全球，彙集了來自美國、日本、斯洛維尼亞、希臘等[17]不同國家的科學家，但EUV的製造並沒有全球化，而是壟斷的。由一家公司管理的單一供應鏈，將一手掌控微影成像技術的未來。

33

創新者的兩難

在2006年的Macworld大會上，賈伯斯以一身招牌的藍色牛仔褲配黑色高領衫，獨自站在黑暗的舞台上。台下數百名科技迷殷切期盼著這位矽谷先知的開示。賈伯斯轉向他的左側，舞台的遠端冒出藍色的煙霧。一名穿著白色無塵衣（俗稱兔子裝，晶圓廠用來維持工廠極度清潔的工裝）的男子穿過煙霧，穿過舞台走向賈伯斯。他摘下頭套，咧嘴而笑：那是英特爾的執行長保羅．歐德寧（Paul Otellini）。他遞給賈伯斯一大塊晶圓。「賈伯斯，我想跟大家報告，[1]

英特爾已經準備好了。」

這是經典的賈伯斯表演手法，也是典型的英特爾商業奇招。到了2006年，英特爾已經為大多數的個人電腦提供處理器，在過去十年成功地擊敗了AMD。當時市面上只有英特爾與AMD生產x86指令集架構的晶片，x86指令集架構是管理晶片運算方式的一套基本規則，是個人電腦的業界標準。蘋果是唯一沒採用x86晶片的大型電腦製造商。現在，賈伯斯與歐德寧宣布，這種情況將會改變，麥金塔電腦將內建英特爾的晶片。英特爾帝國將會更加壯大，這家公司對個人電腦業的掌控又更進一步了。

賈伯斯早已是矽谷的風雲人物，他發明了麥金塔電腦，讓大眾發現電腦可以直覺好用。2001年，蘋果發布了iPod，那是一款充滿遠見的產品，展現出數位科技可以如何改造任何消費裝置。英特爾的歐德寧則與賈伯斯截然不同，他是公司雇來的高階經理人，不是遠見家。他與英特爾的前幾任執行長（諾伊斯、摩爾、葛洛夫、巴瑞特）也不一樣，他的背景不是工程學或物理學，而是經濟學。他拿的是工商管理碩士學位，不是博士學位。他擔任執行長期間，大家可以看到英特爾的影響力從化學家與物理學家的手上，轉移到經理人與會計師的手上。起初這種轉變

幾乎難以察覺，但員工注意到，高階主管的襯衫愈來愈白了，[2]也愈來愈常打領帶。歐德寧承接了一家利潤極其豐厚的公司，他認為自己的首要任務是善用英特爾在x86晶片上的[3]壟斷地位，盡可能維持最高的利潤。他運用教科書傳授的管理實務來捍衛這個優勢。

x86架構之所以主宰個人電腦，並不是因為它最好，而是因為IBM的第一台個人電腦碰巧就是使用這種架構。就像為個人電腦提供作業系統的微軟一樣，英特爾掌控了個人電腦生態系統的這個關鍵組成。這有部分是運氣使然（IBM當初也可以為首批的個人電腦挑選摩托羅拉的處理器）；有部分是因為葛洛夫的策略遠見。在1990年代初期的員工會議上，葛洛夫畫了一幅圖，說明他對運算未來的願景：一座有護城河包圍的城堡。城堡是英特爾的獲利能力，[4]保衛城堡的護城河是x86。

自從英特爾採用x86架構以來的後續幾年間，柏克萊的電腦科學家設計了一種更新、更簡單的晶片架構，稱為RISC。這種架構提供更有效率的運算，因此功耗較低。相較之下，x86架構既複雜又笨重。在1990年代，葛洛夫曾認真考慮過把英特爾的主要晶片轉換為RISC架構，但最終決定放棄。RISC比較有效率，但改變的成本很高，對英特爾的壟斷地位威脅太大。電腦業是以x86為基礎設計的，英特爾又主導這個生態系統。因此，x86界定了目前為止多數個人電腦的架構。

英特爾的x86指令集架構也主宰了伺服器事業。隨著企業在2000年代建造愈來愈大的資料中心，以及亞馬遜網路服務（AWS）、微軟Azure、Google雲端平台（Google　Cloud）等企業建造龐大的伺服器倉庫，創造出讓個人與公司儲存資料及運行程式的「雲端」，伺服器事業開始蓬勃發展。1990年代與2000年代初期，英特爾在為伺服器提供晶片的事業中，只有很小的市占率，落後IBM與惠普等公司。但英特爾利用其設計及製造先進處理器晶片的能力，搶到資料中心的市占率，並讓x86成了那個領域的業界標準。到了2000年代中期，就在雲端運算剛出

現的時候，英特爾在資料中心的晶片方面，[5]

獲得了近乎壟斷的地位，只與AMD競爭。如今，幾乎各大資料中心都使用英特爾或AMD的x86晶片。沒有他們的處理器，雲端就無法運作。

有些公司試圖挑戰x86作為個人電腦業界標準的地位。1990年，蘋果與兩個合作夥伴成立了合資公司ARM，總部設在英國劍橋。其目的是使用一種新的指令集結構來設計處理器晶片，那種架構是以更簡單的RISC原則為基礎，也就是英特爾曾考慮過但並未採用的那套架構。身為一家新創企業，ARM無須考慮從x86切換的成本，因為它沒有業務，也沒有客戶。它希望取代x86，成為運算生態系統的核心。ARM的首任執行長羅賓．薩克斯比（Robin　Saxby）對這家12人組成的新創企業有很大的抱負。「我們必須成為全球標準，」他對同仁說，[6]

「這是我們唯一的機會。」

薩克斯比曾在摩托羅拉的歐洲半導體部門步步高升，後來轉戰一家歐洲的晶片新創企業，但那家企業後來因製程不佳而倒閉。他瞭解依靠內部製造的局限性。早期辯論ARM的策略時，他堅稱：「矽就像鋼鐵，是一種大宗物資……我們絕對不該自製晶片。」ARM採用的商業模式是出售其架構的使用許可證，讓晶片設計公司來購買授權。這為分立的晶片業提供了一種新願景。英特爾有自己的架構（x86），並在那個架構上設計及生產許多不同的晶片。薩克斯比想把ARM架構賣給無晶圓廠的設計公司，讓它們根據各自的目的來訂製ARM架構，然後把晶片製造外包給台積電那樣的代工廠。

薩克斯比不僅夢想與英特爾抗衡，也夢想顛覆英特爾的商業模式。然而，ARM在1990年代與2000年代未能獲得個人電腦的市占率，因為英特爾與微軟Windows作業系統的合作夥伴關係太強大了。然而，ARM的簡化、節能架構，在必須節約電池使用的小型隨身裝置中流行了起來。例如，任天堂為其掌上遊戲機選了ARM晶片，那是英特爾從未關注太多的小市場。英特爾在電腦處理器的寡占利潤太高了，那種小眾市場不值得考慮。英特爾直到太晚才意識到，它應該在另一個看似小眾的隨

身運算裝置市場上競爭：手機。

行動裝置將會轉變運算，這個概念並不新鮮。充滿遠見的加州理工學院教授米德早在1970年代初期就做出這樣的預測。英特爾也知道，個人電腦不會是運算發展的最後階段。在1990年代與2000年代，英特爾投資了一系列的新產品，例如[7]類似Zoom的視訊會議系統，領先了時代20年。但那些新產品幾乎都沒有流行起來，與其說是技術原因，不如說是它們的利潤都遠不如英特爾的核心業務：為個人電腦製造晶片。那些新產品從未獲得英特爾內部的支持。

從1990年代初期以來（葛洛夫仍是執行長的時候），行動裝置一直是英特爾內部經常討論的話題。1990年代初期，在英特爾總部舉行的一次會議上，一位高管把掌上型電腦Palm Pilot舉起來揮著說：「這種裝置會成長，取代個人電腦。」但是，當銷售個人電腦的處理器可以賺更多錢時，把錢投入行動裝置的開發[8]似乎是瘋狂的賭注。因此，英特爾直到為時已晚才決定進軍行動事業。

當初為葛洛夫提供建議的哈佛教授，可以輕易診斷出英特爾陷入的兩難情境。英特爾裡，人人都知道克里斯汀生，也知道他提出的「創新者的兩難」概念。然而，英特爾的個人電腦處理器事業看起來似乎還可以像印鈔機那樣大量地印鈔很久。1980年代，葛洛夫在英特爾虧損時，讓英特爾抽離了DRAM業務。1990年代與2000年代並不相同，這時英特爾是美國最賺錢的公司之一。問題不在於沒有人意識到英特爾應該考慮推出新產品，而是現況實在獲利太好了。如果英特爾什麼都不做，它仍然會擁有全球最有價值的兩座城堡：個人電腦與伺服器晶片——這兩座城堡都周邊都圍繞著x86這條深深的護城河。

蘋果決定在麥金塔電腦中內建英特爾的晶片不久，賈伯斯又帶著一個新概念去找歐德寧。他問道，英特爾能不能為蘋果的最新產品——電

腦化的手機——製造晶片？所有的手機都使用晶片來執行作業系統，以及管理與手機網路的通訊，但蘋果希望它的手機能像電腦一樣運作，因此需要一個類似電腦的處理器。歐德寧後來對記者亞歷克西斯．馬德里格（Alexis Madrigal）說：「他們想支付某個價格，不想多給一分錢……我實在不明白，那不是你能靠交易量來彌補的東西。事後看來，預測的成本是錯的，[9]交易量是任何人所想的100倍。」英特爾拒絕了iPhone的合約。

於是，蘋果往其他的地方尋找手機晶片。賈伯斯找上了ARM的架構。與x86不同的是，ARM架構是針對行動裝置必須節約用電的特質來優化的。早期的iPhone處理器是由繼台積電之後進入代工業的三星所生產。歐德寧當初預測iPhone只是一款小眾產品，後來證明那是大錯特錯的預測。然而，他意識到錯誤時已經為時已晚。英特爾後來爭搶智慧型手機的業務。儘管英特爾最終針對智慧型手機的產品投入了數十億美元，但一直沒有什麼成果。在歐德寧與英特爾意識到發生什麼狀況以前，蘋果已經在其獲利豐厚的城堡周邊挖了一條很深的護城河。

就在英特爾拒絕iPhone合約幾年後，蘋果在智慧型手機上的獲利，比英特爾銷售個人電腦處理器的獲利還多。英特爾曾試圖攀上蘋果城堡的高牆好幾次，但已經失去了先發優勢。為了爭奪第二名而投入數十億美元也令英特爾提不起勁，尤其英特爾的個人電腦業務依然獲利豐厚，而且資料中心業務也快速成長。因此，英特爾一直沒找到[10]在行動裝置領域站穩腳跟的方法。目前行動裝置使用的晶片，占晶片總銷量近三分之一，而英特爾在這個領域依然落後。

葛洛夫離開後，英特爾錯失的幾個機會都有一個共同的原因。從1980年代末期開始，英特爾的獲利已突破2500億美元。即使在通膨調整前，這種記錄也很少有公司能與之匹敵。英特爾之所以有如此豐厚的獲利，是因為它把個人電腦晶片與伺服器晶片的價格都訂得很高。英特爾能持續開出這種高價，是因為葛洛夫不斷改進設計流程與先進製程，並把這種精益求精的模式傳給了繼任者。英特爾的領導高層持續把利潤

最高的晶片生產放在首位。

這是一種理性的策略，畢竟沒有人想要利潤低的產品，但這也導致他們不可能嘗試新的東西。這種對於達成短期利潤目標的執著，開始取代長期的技術領先地位。權力從工程師轉移到專業經理人，也加速了這個過程。2005年至2013年擔任英特爾執行長的歐德寧坦言，他之所以拒絕了iPhone晶片的合約，是因為擔心財務影響。對利潤的執著深深滲透了這家公司——舉凡人才招募、產品願景藍圖、研發流程等等都受到影響。英特爾的領導人就是比較關注公司的資產負債表，而不是電晶體。一位英特爾的前財務主管回憶道：「公司有技術，也有人才，但就是不想放棄

11

些許的利潤。」

34
跑得更快？

2010年，葛洛夫在帕羅奧圖的一家餐廳用餐時，有人介紹他認識三名來矽谷參訪的中國創投業者。他於2005年辭去英特爾的董事長一職，現在只是普通的退休人士。他建立及拯救的公司，如今仍獲利豐厚。即使2008年與2009年矽谷的失業率飆升至9%以上，英特爾依然有獲利。但葛洛夫認為，即使英特爾那麼成功，也不該自滿，他一如既往抱持著危機意識。看到中國的創投業者來帕羅奧圖投資，他不禁納悶：在大規模失業下，矽谷把生產移到海外是明智之舉嗎？

身為逃離納粹與蘇聯軍隊的猶太移民，葛洛夫並非本土主義者。英特爾從世界各地招募工程師，在全球數個大陸設廠。然而，葛洛夫對於把先進製程移到海外感到擔憂。3年前剛上市的iPhone就是這個趨勢的例證，iPhone的零組件很少在美國製造。雖然工作外移是從低技術的工作開始，但葛洛夫認為，無論是半導體還是其他產業，外移都不會止步於此。他擔心電動車所需的鋰電池——儘管美國發明了很多核心技術，但在該領域的市占率很小。他提議的解決方案是：「對生產外移的產品額外課稅。萬一這樣做引發了貿易戰，那就把它當成一般戰爭看待：[1]

為勝利而奮戰。」

許多人把葛洛夫視為過往時代的代表人物。他在一個世代以前創立了英特爾，那個年代網際網路尚未出現。他的公司錯過了行動電話的趨勢，靠x86的壟斷成果維生。在2010年代初期，英特爾仍握有全球最先進的半導體製程技術，比競爭對手更早推出更小的電晶體，維持著摩爾時代以來一貫的精進步調。然而，英特爾與台積電、三星等競爭對手之間的差距已開始縮小。

此外，採用不同商業模式的其他高科技業者，如今使英特爾的業務

黯然失色。2000年代初期，英特爾曾是全球最有價值的公司之一，如今已被蘋果超越，蘋果新的行動生態系統並不依賴英特爾的晶片。英特爾錯過了網路經濟的崛起。臉書（Facebook）成立於2006年，2010年的臉書市值幾乎是英特爾的一半，不久就會變成英特爾的好幾倍。這家矽谷最大的晶片製造商可能會反駁說，網路上的資料是在其伺服器晶片上處理的，讀取網路資料的個人電腦也是依賴它生產的處理器。然而，生產晶片的利潤還不如在app上銷售廣告。葛洛夫推崇「破壞性創新」，但是到了2010年代，英特爾的事業正遭到破壞。所以，即使他哀嘆蘋果把裝配線外移，大家也把他的話當成耳邊風。

即使是在半導體界，葛洛夫這番充滿危機意識的預言也普遍遭到駁斥。的確，像台積電這樣的新半導體代工廠大多位於海外。然而，外國代工廠生產的晶片，主要是由美國的無晶圓廠公司設計的。此外，他們的晶圓廠裡都是美國製造的設備。自從葛洛夫的第一個雇主快捷半導體在香港開設最早的組裝廠以來，外包到東南亞一直是晶片業商業模式的核心。

但這些論調都無法說服葛洛夫，他宣稱：「放棄今天的『大宗商品』製造，可能會把你排除在明天的新興產業之外。」他指的是電池業。他寫道，美國「30年前停止生產消費電子裝置，失去了電池業的領先地位」。後來，美國錯過了個人電腦的電池，如今在電動車的電池方面又遠遠落後，他於2010年預測：「[2]

我懷疑他們永遠也趕不上。」

即使在半導體業裡，也可以輕易找到反駁這種悲觀看法的論點。相較於1980年代末期日本競爭者在DRAM設計與製造方面痛擊矽谷的情況，如今美國的晶片生態系統看起來更健全。不僅英特爾賺取龐大獲利，許多無晶圓廠的晶片設計公司也是如此。美國的半導體製造設備公司，除了失去先進的微影成像技術以外，在2000年代普遍蓬勃發展。應用材料公司（Applied Materials）仍是全球最大的半導體機台製造商，製造的設備包括在矽晶圓加工過程中在上方沉積化學薄膜的機器。科林研發公司（Lam Research）在矽晶圓蝕刻電路方面擁有世界一流的專業

技術。同樣位於矽谷的科磊公司（KLA）擁有世界上最好的機台，可以在晶圓與微影成像光罩上找出奈米級的誤差。這三家設備製造商正推出能夠以原子尺度沉積、蝕刻、衡量細節的新一代設備，這對製造下一代的晶片非常重要。有幾家日本公司擁有媲美美國設備製造商的一些能力，尤其是東京威力科創公司（Tokyo Electron）。然而，不用一些美國機台的話，基本上不可能製造出先進的晶片。

晶片設計也是如此。2010年代初期，最先進的微處理器在每個晶片上有[3]10億個電晶體。能夠布局這些電晶體的軟體是由益華（Cadence）、新思科技（Synopsys）、明導國際（Mentor）三家美國公司提供，它們囊括了[4]約四分之三的市場。不使用這些公司的至少一種軟體，就不可能設計出晶片。此外，多數提供晶片設計軟體的小公司也是美國公司，其他國家都無法匹敵。

華爾街的分析師與華府的人士關注矽谷時，看到的是一個獲利豐厚且技術不斷進步的晶片業。當然，如此依賴台灣幾家工廠來製造全球很大一部分的晶片確實有一些風險。1999年，台灣發生了一場[5]芮氏7.3級的地震，導致全台大部分地區停電，包括兩座核電廠。台積電的晶圓廠也停電了，威脅到該公司的生產與全球許多晶片的產出。

張忠謀很快致電台灣的官員，確保公司能優先獲得電力供應。台積電花了一週的時間，使五座晶圓廠中的四座復工，[6]第五座的復工時間較長。不過，[7]中斷的影響有限，消費電子品市場在一個月內就恢復正常了。然而，1999年那場地震只是台灣在二十世紀遭遇的第三強震，未來爆發更強大地震並不難想像。台積電告訴客戶，該公司的設施可承受芮氏9級的強震。自1900年以來，[8]

全球共經歷了五次這種強度的地震。沒有人想驗證台積電對客戶宣稱的說法。不過台積電總是可以說，矽谷就坐落在聖安德列斯斷層上，因此把晶片製造遷回加州也沒有安全多少。

一個更困難的問題是，對於半導體技術的海外銷售，美國政府該如何調整它對這些銷售的掌控，因應日益國際化的供應鏈。除了幾家為美國軍方生產專業半導體的小型晶片製造商以外，矽谷巨擘在1990年代與2000年代都縮減了與國防部的關係。1980年代，矽谷的執行長面對日本的競爭時，花了很多時間在國會。現在，他們認為不需要政府的協助了，他們主要關切的是，政府最好能與其他國家簽署貿易協定及取消出口管制，不要阻擋他們。華盛頓的許多官員支持晶片業呼籲的「放鬆管制」。中國有像中芯國際那樣野心勃勃的公司，但華府的共識就像有影響力的外交官勞勃．佐利克（Robert　Zoellick）所說的，貿易與投資將鼓勵中國在國際體系中成為[9]「負責的利益關係者」。

此外，當時流行的全球化理論，使美方幾乎不可能實施嚴格的管控。在冷戰時期，實施控制措施已經夠難了，而且常導致美國與盟友為了哪些設備可賣給蘇聯而起爭端。2000年代的中國與蘇聯不同，它遠比蘇聯更融入全球經濟中。美國政府的結論是，出口管制是弊大於利，既損害美國產業，又無法阻止中國向其他國家的公司購買商品。日本與歐洲都亟欲向中國出售幾乎所有的東西。美國政府裡根本沒有人願意為了出口管制問題而與盟友發生衝突，尤其當時美國的領導人還把重心放在友善對待中國的領導人上。

這時華府形成了一種新的共識：最好的政策是比美國的競爭對手「跑得更快」。一位美國專家預測：「美國在任一產品，尤其是半導體產品，依賴任一國家的可能性極小，[10]更遑論依賴中國了。」美國甚至還給予中國的中芯國際「最終民用廠商」（Validated End-User，簡稱VEU）的[11]特殊地位，證明該公司沒有向中國軍方出售產品，因此不受某些出口管

制的約束。除了少數幾位議員以外（主要是美國南方的共和黨人，他們看待中國的方式，彷彿冷戰從未結束似的），華盛頓幾乎所有人士都支持

12

比競爭對手「跑得更快」的策略。

「跑得更快」是個巧妙的策略，只是它有一個問題：從一些關鍵指標來看，美國並沒有跑得更快，而是節節敗退。政府內部幾乎沒有人費心去分析，但葛洛夫對於專業外移的悲觀預測，有部分已經變成現實。2007年，國防部委託前國防部官員理查．范阿塔（Richard Van Atta）與幾個同仁做了一項研究，評估半導體業「全球化」對軍方供應鏈的影響。范阿塔在國防微電子領域工作了幾十年，經歷過日本晶片業的興衰。他個性冷靜沉著、不太會反應過度，而且深知跨國供應鏈可以讓晶片業更有效率。在和平時期，這套系統運行得很順利。然而，國防部必須考慮最壞的情況。范阿塔的報告指出，國防部很快就會依賴外國以取得先進晶片，因為很多先進製造都移到國外了。

在美國陷入單極時刻的傲慢時，幾乎沒有人願意傾聽。華盛頓的多數人甚至連證據也不看一眼，就直接認定美國現在「跑得更快」。然而，我們可以從半導體業的歷史看到，美國並不保證永遠領先。1980年代美國沒有超越日本，雖然1990年代迎頭趕上了。在微影成像技術方面，GCA並沒有超越Nikon或ASML。美光是唯一能跟上東亞競爭對手的DRAM廠商，許多美國的DRAM廠商都破產了。直到2000年代末期，英特爾在生產小型電晶體方面一直領先三星與台積電，但差距已經縮小。英特爾因起跑點超前而受惠，但如今跑速變慢了。美國在多數類型的晶片設計方面是領導者，但台灣的聯發科證明了其他國家也可以設計晶片。范阿塔認為，美國沒多少理由展現自信，更沒有理由自滿。2007年，他提出警告：「未來十年，美國的領導地位可能嚴重削弱。」

13

但沒人聽進這番警訊。

▲ 張忠謀在德儀未能晉升到執行長之後，移居台灣，創立了台積電，並建立了台灣的晶片業。台積電是亞洲最有價值的公司之一。（Bloomberg/Getty Images）

▲ 賈伯斯提議，由英特爾為蘋果的手機製作晶片，但英特爾拒絕了，後來證明這是天大的錯誤。英特爾的執行長歐德寧後來表示：「我當時還不明白。」（Karl Mondon/Abaca Press）

第六部

創新外移？

35

「真男人要有晶圓廠」

AMD的創辦人桑德斯常戴著勞力士名錶，開著勞斯萊斯名車，他喜歡把擁有半導體製造廠比喻成在游泳池裡養鯊魚當寵物。鯊魚的餵養成本很高，需要時間與精力照顧，[1]

可能還會咬死你。儘管如此，桑德斯對一件事深信不疑：永遠不要放棄半導體製造廠。他曾在伊利諾大學讀電機系，但他從來不搞製造。他在快捷半導體是做業務與行銷，在那裡步步高昇，成為該公司最耀眼、[2]

最成功的業務員。

桑德斯的專長是銷售，但從沒想過放棄AMD的製造廠，即使像台積電那樣的代工廠崛起，讓大型晶片公司可能考慮把製程外包給亞洲的代工廠，他依然不為所動。1980年代與日本爭奪DRAM的市占率、1990年代與英特爾爭奪個人電腦市場後，桑德斯一直守住晶片廠，他認晶片廠對AMD的成功非常重要。

但就連他也承認，擁有並經營晶圓廠又要同時追求獲利，已經愈來愈難。問題很簡單：每一代技術的進步，都會推高晶圓廠的成本。張忠謀早在幾十年前就得出類似的結論，這也是他認為台積電的商業模式比較優越的原因。台積電這種代工廠可以為許多晶片設計公司製造晶片，從龐大的產量中獲得其他公司難以複製的效率。

晶片業裡並不是每個領域都面臨類似的動態，但許多領域確實是如此。2000年代，大家常把半導體業分成三大類別。「邏輯」是指驅動智

慧型手機、電腦、伺服器的處理器。「記憶體」是指DRAM與快閃記憶體（又稱NAND），DRAM提供電腦運行所需的短期記憶，NAND則是長時間記憶資料。第三類晶片比較廣泛，包括類比晶片（例如把視訊或音訊轉換為數位資料的感測器）、無線射頻晶片（與手機網路通訊），以及管理設備用電方式的半導體。

　　第三類晶片主要不是依靠摩爾定律來驅動性能改善，精明的設計比縮小電晶體更重要。如今，這類晶片中，約四分之三是在180奈米[3]或更大的處理器上生產，這種製造技術是在1990年代末期率先出現。因此，這種晶片不需要像邏輯晶片與記憶體晶片那樣靠不斷地縮小電晶體來維持先進地位，所以生產這類晶片的晶圓廠不必每隔幾年就競相生產最小的電晶體，成本因此低得多，平均資本投資是生產邏輯晶片或記憶體晶片的先進晶圓廠的[4]四分之一。如今最大的類比晶片製造商是美國、歐洲或日本廠商。他們的生產也大多位於這三個地區，僅一小部分外移到台灣與南韓。目前最大的[5]類比晶片製造商是德州儀器，德儀並未在個人電腦、資料中心或智慧型手機的生態系統中建立像英特爾那樣的壟斷地位，但仍是一家中等規模、利潤豐厚的晶片製造商，擁有多元的類比晶片與感測器產品。現在還有許多總部位於美國的類比晶片製造商，例如安森美（OnSemi）、思佳訊（Skyworks）、亞德諾（Analog　Devices），歐洲與日本也有一些類似的公司。

　　相較之下，記憶體市場主要是由一股勢力主導：不斷地把生產外移到少數幾家工廠，那些工廠大多位於東亞。DRAM與NAND這兩種主要的記憶體晶片只由幾家公司生產，而不是由位於先進國家的分散供應商生產。1980年代導致矽谷與日本激烈競爭的半導體是DRAM記憶體晶片，興建一個先進的DRAM製造廠要花200億美元。以前有幾十家DRAM廠商，但現在只有三家主要廠商。1990年代末期，日本幾家苦撐的DRAM廠商合併成爾必達（Elpida），試圖與愛達荷州的美光及韓國

的三星與SK海力士（SK Hynix）競爭。2000年代末期，這四家公司囊括了[6]約85%的市占率。然而，[7]爾必達還是生存困難，在2013年被美光收購。三星與SK海力士主要是在南韓生產DRAM，美光則不同，它因連串的收購案，在日本、台灣、新加坡、美國等地都有DRAM廠。[8]新加坡等國的政府補貼，鼓勵美光維持及擴大當地的晶片廠產能。因此，雖然美國公司是世界三大DRAM廠商之一，但其DRAM生產大多位於東亞。

另一種記憶體晶片NAND的市場，也是以亞洲為中心。三星是最大的業者，[9]囊括35%的市占率，其餘的市場是由南韓的SK海力士、日本的鎧俠（Kioxia），以及美光與威騰（Western Digital）這兩家美國公司瓜分。韓國公司幾乎只在南韓或中國生產晶片，但美光與威騰的NAND生產僅一部分在美國，大多是位於新加坡與日本。與DRAM一樣，儘管美國公司是生產NAND的要角，但在美國本土製造的比例很低。

不過，美國在記憶體晶片產量方面區居第二，並不是新鮮事。這可以追溯到1980年代末期，當時日本的DRAM產量首次超越美國。近年的大轉變是，美國境內生產的邏輯晶片比例大幅下滑。如今，建造一個先進的邏輯晶片廠需要200億美元，很少公司負擔得起這種巨額的資本投資。就像記憶體晶片一樣，一家公司生產的晶片量與良率之間有相關性。由於規模經濟的效益，製造先進邏輯晶片的公司數量持續減少。

除了英特爾這個明顯的例外，許多關鍵的美國邏輯晶片製造商已經放棄擁有晶圓廠，把製造外包出去。摩托羅拉、國家半導體等以前的主要業者相繼破產，或遭到收購，或眼睜睜地看著市占率縮小。取而代之的是無晶圓廠的公司，他們往往是從傳統的半導體公司招募晶片設計師，再把晶片製造外包給台積電或其他的亞洲代工廠。這讓無晶圓廠的

公司可以專注於他們的強項，也就是晶片設計，不需要同時具備製造半導體的專業知識。

只要桑德斯仍擔任AMD的執行長，他創立的AMD公司就會守住製造邏輯晶片（例如個人電腦的處理器）的業務。老派的矽谷執行長持續堅稱，把半導體的製造與設計分開會導致效率低下。然而，真正促使晶片設計與晶片製造長期整合在一起的是文化，背後並沒有什麼商業道理。桑德斯還記得諾伊斯在快捷半導體的實驗室裡研發的日子。他主張AMD應該繼續保留製造業務，這個論點是靠男子氣概撐起來的，但那種氣概很快就過時了。1990年代，他聽到一位記者打趣地說：「真男人要有晶圓廠。」他一聽就把那句話收編己用。在一場半導體業大會上，他對聽眾說：「請聽我說，好好聽我講完，

[10]

真男人要有晶圓廠。」

36
無廠革命

「真男人」可能有晶圓廠，但矽谷新一代的半導體企業家可沒有。1980年代末以來，無晶圓廠的晶片公司暴增，那些公司自己設計半導體，把製造外包出去，通常是請台積電代工。1984年，高登．坎貝爾（Gordon Campbell）與達多．巴拿道（Dado Banatao）合創晶片技術公司（Chips and Technologies，簡稱C&T），一般認為那是第一家無晶圓廠的公司。當時，他們的一位朋友說C&T [1] 「不是一家真正的半導體公司」，因為它沒有自己製造晶片。然而，事實證明，他們為個人電腦設計的繪圖晶片很受歡迎，媲美業界一些大公司的產品。最終，C&T逐漸衰落，被英特爾收購。但它證明無晶圓廠的商業模式是可行的，只需要一個好概念與幾百萬美元的創業資金就能運作，創業成本只需要建晶圓廠的一小部分。

對半導體新創企業來說，電腦繪圖一直是個充滿吸引力的小眾市場，因為繪圖領域不像個人電腦的處理器那樣，有英特爾壟斷整個市場。從IBM到康柏，每家個人電腦廠商的中央處理器都必須使用英特爾或AMD的晶片，因為這兩家公司實質上壟斷了個人電腦所需的x86指令集。在螢幕上顯現圖像的晶片市場，競爭激烈很多。半導體代工廠的出現以及創業成本的下降，意味著不只矽谷的貴族階層有資格競相製造最好的圖形處理器。後來稱霸繪圖晶片市場的輝達（Nvidia），並不是從帕羅奧圖的時髦咖啡館發跡的，而是從聖荷西比較混亂的一區裡的 [2] Denny’s連鎖餐廳起步。

1993年，克里斯．馬拉科夫斯基（Chris Malachowsky）、柯蒂斯．普里姆（Curtis Priem）及黃仁勳合力創辦了輝達，黃仁勳如今仍

是輝達的執行長。普里姆在IBM任職時，做過如何運算圖形的基礎工作，接著他轉往昇陽（Sun Microsystems），與馬拉科夫斯基共事。黃仁勳生於台灣，幼時[3]移民到肯塔基州，曾在矽谷的晶片製造商巨積（LSI）任職。後來他擔任輝達的執行長，成為輝達的代言人，總是穿著深色牛仔褲、黑色襯衫與黑色皮衣，散發出類似賈伯斯的氣場，顯示他已預見運算的未來。

輝達的第一批客戶是影片與電玩公司，可能看起來不是最先進的客戶，但輝達認為圖像的未來是顯示[4]複雜的3D立體圖像。早期的個人電腦是一個單調乏味的2D平面世界，因為顯示3D圖像所需的運算量很大。1990年代，微軟Office推出一款名為Clippy的迴紋針動畫，它可以坐在螢幕旁邊提供建議，那代表著圖形技術的大躍進，只是它經常導致電腦當機。

輝達不僅設計了能夠處理3D圖形的晶片，並稱之為圖形處理器（graphics processor unit，簡稱GPU），也為圖形處理器設計了一套軟體生態系統。製作逼真的圖像需要使用一種名叫著色器（shaders）的程式，它會告訴圖像中的所有畫素該如何表現，例如在某種光照色調之下。著色器會套用在圖像的每個畫素上，形同於對數千個畫素做比較簡單的運算。輝達的圖形處理器可以迅速繪出圖像，因為它不像英特爾的微處理器或其他通用的中央處理器（CPU），它的設計是同時進行大量簡單的運算，例如畫素上色。

2006年，輝達發現高速平行運算可套用在電腦繪圖以外的用途，於是發布了CUDA軟體，讓人能以標準的程式設計語言來設計GPU，完全不涉及圖像。輝達在量產頂級的繪圖晶片的同時，黃仁勳也在這款軟體上[5]投入大量的資金。根據該公司2017年的估計，為了讓任何程式設計師都能使用輝達的晶片，而不限於繪圖專家，黃仁勳投入了至少100億美元。黃仁勳免費提供CUDA給用戶，但那套軟體只能在輝達的晶片上運行。藉由讓晶片不止適用於繪圖業，輝達為平行處理發現了

龐大的新市場，從運算化學到天氣預報等等都適用。當時，黃仁勳還只能依稀看見平行處理的未來：人工智慧後來成為平行處理的最大用例。

今天，輝達的晶片主要是由台積電製造，在最先進的資料中心裡都可以看到輝達的晶片。輝達不需要建立自己的晶圓廠是一件好事。在創立初期，要募集建廠資金也許不太可能。面對一群窩在Denny's餐廳裡創業的晶片設計師，投資幾百萬美元已經是一種賭注。即使是矽谷最勇於冒險的投資者，也不太可能一下子就拿出上億美元（當時興建一座晶圓廠的成本）。此外，誠如桑德斯所說的，經營晶圓廠既昂貴又耗時。光是像輝達那樣設計出最先進的晶片，就已經夠難了。如果還要自己管理製程，公司可能就沒有資源或餘裕把資金拿去開發一套軟體生態系統。

輝達不是唯一為專用邏輯晶片開創新用例的無晶圓廠公司。1970年代初期在學術大會上高舉微處理器，並宣稱「這就是未來」的通訊理論教授雅各布，現在相信未來已經到了。行動電話（裝在汽車儀表板或地板上的黑色大塑膠磚）即將邁入第二代（2G）技術。電話公司正在協議一種技術標準，讓他們的電話能互通。多數公司想用「分時多工」（time-division multiple access）系統，在這種系統中，來自多個電話的資料是在相同的無線電波頻率上傳輸。當別的電話有片刻沉默時，某電話的資料就會插入無線電波頻譜中。

雅各布一直很相信摩爾定律，他認為另一種比較複雜的跳頻系統會更好。他建議在不同的頻率之間移動通話資料，而不是把某通電話固定在特定頻率上，就可以把更多的通話塞入可用的頻譜空間中。多數人認為那種系統理論上是對的，但實務上永遠行不通。他們認為那樣做的語音品質很差，通話會斷線。在不同頻率之間移動通話資料，並由另一端的手機解讀資料，這種處理量似乎非常大。

但雅各布不認同他們的看法， 1985年他創立了高通公司，就是要證明這點。他建造了一個有兩座手機基地台的小型網路，想證明自己的想法是可行的。不久，整個產業都意識到，只要依靠摩爾定律來執行演

算法，判斷周遭所有的無線電波，高通的系統就有可能把更多的手機通話塞入現有的頻譜空間。

高通為2G以後的每一代手機技術，貢獻了如何透過無線頻譜傳輸更多資料的關鍵概念，並出售具備解讀這種雜訊的運算力的專用晶片。高通的專利非常根本，沒有那些專利，就

7

不可能生產手機。不久高通又拓展了一條新的事業線，不僅設計手機中與行動網路通訊的數據機晶片，也設計啟動智慧型手機核心系統的應用程式處理器。這些晶片設計是重大的工程成就，每個都建立在

8

數千萬行的程式碼上。高通藉由出售晶片及智慧財產權的授權，賺進數千億美元，但它

9

沒有製造任何晶片。那些晶片是高通自己設計，再交由三星或台積電等公司製造。

要哀歎半導體製造業的外移很容易，但是像高通那樣的公司，要是每年都必須投資數十億美元興建晶圓廠，可能無法生存下去。雅各布和高通的工程師擅長把資料塞進無線電波頻譜，並設計出愈來愈精明的晶片來解讀那些訊號的意義。就像輝達一樣，他們不必努力成為半導體的製造專家，這是一件好事。高通曾多次考慮興建自己的晶片製造廠，但考慮到建廠成本與複雜性後，每次都決定作罷。多虧了台積電、三星，以及其他願意為他們生產晶片的公司，高通的工程師可以專注在管理頻譜及半導體設計方面的

10

核心優勢。

還有許多其他的美國晶片公司也因無晶圓廠模式而受惠，那種模式讓他們推出新的晶片設計，但不必花數十億美元建廠。於是，市面上出現全新的晶片類別，那些晶片只在台積電與其他的代工廠製造，不在晶片設計公司的內部製造。賽靈思（Xilinx）、阿爾特拉（Altera）等公司首創的現場可程式化邏輯閘陣列（Field-programmable gate arrays），

可以用程式設計出不同用途的晶片。而這兩家公司從創立初期就把晶片製造外包。不過，無晶圓廠公司所帶來的最大變化，不單只是開發出新型的晶片而已。它們因促成了行動電話、高階顯卡，以及平行處理，而開創出全新的運算類型。

37
張忠謀的大同盟

桑德斯可能承諾他永遠不會放棄晶圓廠，但以前用小刀與鑷子設計晶片的那一代工程師正在離開這個領域。他們的後繼者受過電腦教育，許多人主要是透過1980年代與1990年代出現的新晶片設計軟體來瞭解半導體。對矽谷的許多人來說，桑德斯對晶圓廠的執念，似乎跟他那種大男人氣概一樣不合時宜。2000年代與2010年代接掌美國半導體公司的新一代執行長，說的通常是企管碩士（MBA）與博士的語言，可以在法說會上與華爾街的分析師閒談資本支出與利潤。以多數的衡量標準來看，這種新世代的管理人才比創建矽谷的化學家與物理學家專業多了。但相較於以前的產業巨擘，他們往往顯得乏味。

以前的半導體業會瘋狂押注於看似不可能的技術，如今這種瘋狂押注被較有組織、專業、合理的東西所取代了。此外，精算的風險管理也取代了豪賭。這難免讓人覺得過程中失去了某種東西。晶片業的創辦者中，只剩張忠謀還留在業界，他在台灣的辦公室裡抽著菸斗（他辯稱這個習慣對他的健康有益，或至少對他的情緒有益）。2000年代，連張忠謀也開始考慮接班計畫。2005年，74歲的他辭去執行長一職，但仍擔任台積電的董事長。很快地，就不會再有人記得和基爾比一起在實驗室裡工作，或和諾伊斯一起喝啤酒的那段歷史了。

晶片業高層的更迭，加速了晶片設計與製造的分拆，晶片的製造大多轉移到海外。桑德斯從AMD退休五年後，AMD也宣布要[1]拆分晶片設計與製造業務，華爾街為此歡呼雀躍。他們認為新的AMD少了資本密集的晶圓廠，獲利將會更好。AMD把晶圓廠分拆出去，成立了一家新公司，新公司會是像台積電那樣的代工廠，不僅為AMD生產晶片，也為其他的客戶生產晶片。阿布達比政府的主權基金穆巴達拉（Mubadala）變成那家新代工廠的主要投資者，對一個以石油聞名、而

不是以高科技聞名的國家來說，這是一項令人意外的投資。負責審查外國收購策略資產的美國外資投資委員會（CFIUS）批准了這筆交易，它認為這不會影響國家安全。但AMD產能的命運最終將塑造晶片業，並確保最先進的晶片製造將在海外進行。

格芯（GlobalFoundries）這家承襲AMD晶圓廠的新公司，進入了這個一如既往競爭激烈又無情的產業。2000年代與2010年代，摩爾定律持續推進，迫使先進的晶片製造商投入愈來愈多的資金，大約每兩年就得推出更先進的新製程。智慧型手機、個人電腦、伺服器晶片迅速移轉到新的「節點」，善用更密集的電晶體所帶來的更高處理力與更低功耗。每次的節點轉移，都需要更昂貴的機器來生產。

多年來，每一代製造技術都是以電晶體的閘極長度來命名（閘極是矽晶片的一部分，其導電性會開啟與關閉，從而連接與中斷電路）。180奈米製程（180nm）的節點是在1999年首次出現，隨後出現的是130奈米、90奈米、65奈米、45奈米，每一代電晶體的體積都縮小到足以在同一區域容納約兩倍的電晶體。這降低了每個電晶體的功耗，因為更小的電晶體需要更少的電子流過它們。

約莫是2010年代的初期，想透過在二維空間上縮小電晶體來塞進更多電晶體，已經不可行了。一個挑戰是，當電晶體根據摩爾定律縮小時，導電通道的狹窄偶爾會導致電路漏電，即便開關是關閉狀態也會。最重要的是，每個電晶體頂部的二氧化矽層變得很薄，以至於「穿隧」（tunneling）之類的量子效應開始嚴重影響電晶體的性能（穿隧是指跳過經典物理學認為應該無法逾越的障礙）。到了2000年代中期，每個電晶體上面的二氧化矽層只有幾個原子厚，因為實在太小了，無法蓋住矽裡的所有電子。

為了更好地控制電子的移動，需要新的材料與電晶體設計。22奈米的節點與1960年代以來使用的2D設計不同，它導入了一種新的3D電晶體，稱為鰭式場效電晶體（FinFET）。它把電路的兩端以及連接它們的半導體材料通道放在矽片上方，看起來像鯨魚的背鰭。因此，連接電路

兩端的通道不僅可以從頂部施加電場，也可以從鰭片的側面施加電場，從而增強對電子的控制，並克服威脅新一代電晶體性能的漏電問題。這些奈米級的3D結構，對於延續摩爾定律非常重要，但製造難度極高，在沉積、蝕刻、微影成像方面都需要更加精密。這也增加了不確定性：主要的晶片製造商都能完美地切換成FinFET架構嗎？還是有晶片廠商可能會落後呢？

2009年格芯成為獨立公司時，業界分析師認為格芯在這場朝著3D電晶體邁進的競賽中，很有機會搶到市占率。台積電的前高層坦言，

2

連台積電都擔心落後。格芯在德國承接了一座巨大的晶圓廠，也正在紐約興建一座先進的新廠。它與競爭對手不同，選擇把最先進的產能設在已開發國家，而不是亞洲。格芯與IBM及三星建立了合作夥伴關係，共同開發技術，使客戶可以直接與格芯或三星簽約生產晶片。此外，無晶圓廠的晶片設計公司迫切需要一個可以與台積電抗衡的可靠代工者，因為台積電這家台灣巨擘已經囊括了

3

全球約一半的代工市場。

另一個唯一的主要競爭對手是三星，其代工業務的技術與台積電大致相當，但產能遠低於台積電。不過，由於三星的部分業務是製造三星自己設計的晶片，這導致情況變得更加麻煩。像台積電這樣的公司，為數十家客戶生產晶片，而且竭盡所能讓客戶滿意，但三星有自己的智慧型手機和其他的消費電子產品，因此它本身就在與許多客戶競爭。這些公司擔心，他們向三星代工廠透露的想法，可能最終會顯現在三星的產品上。台積電與格芯則沒有這種利益衝突。

格芯創立時，正巧遇到晶片業切換成FinFET電晶體，這個巧合不是晶片業唯一遇到的衝擊。台積電的40奈米製程面臨嚴重的製造問題，這也讓格芯有機會在面對強敵下

4

脫穎而出。此外，2008至2009年的金融危機也正威脅著晶片業的排序。消費者不再購買電子產品，科技公司也因此不再訂購晶片。半導體

的採購量下滑，台積電的一位高層回憶道，感覺[5]就像電梯沿著空井滑落。如果說有什麼事情能擾亂晶片業，那應該就是全球金融危機了。

不過，張忠謀並不打算放棄代工業務的主導地位。自從他的老同事基爾比發明積體電路以來，他經歷過晶片業的每個景氣循環，他確信經濟衰退終究會結束。過度擴張的公司將被迫退出市場，而那些趁景氣低迷時投資的公司，則可以搶到市占率。此外，張忠謀很早就意識到，智慧型手機將如何改變運算，進而改變晶片業。媒體關注的是臉書的祖克柏（Mark Zuckerberg）這樣的年輕科技大亨，但77歲的張忠謀擁有幾乎無人匹敵的觀點。他對《富比士》（*Forbes*）表示，行動裝置將改變晶片業的遊戲規則。他認為行動裝置帶來的改變，將與個人電腦帶來的改變一樣重大。他會不惜一切代價，致力搶占這項業務的[6]最大市占率。

張忠謀意識到，台積電可以在技術上領先競爭對手，因為它是一個中立的參與者，其他的公司是圍繞著它來設計產品，他把這個模式稱為台積電的「大同盟」。這是一個由數十家公司所組成的合作關係，他們分別設計晶片、銷售智慧財產權、生產材料或製造機台。這些公司中，有許多公司相互競爭，但由於沒有一家生產晶圓，所以沒有一家與台積電競爭。因此，台積電可以在這些公司之間協調，制定晶片業的多數公司都同意使用的標準。他們別無選擇，因為與台積電的製程相容，對幾乎每家公司都非常重要。對無晶圓廠公司來說，台積電是它們最有競爭力的製造服務來源。對設備公司與材料公司來說，台積電往往是他們最大的客戶。智慧型手機市場的蓬勃發展，推高了大家對晶片的需求，張忠謀就處於中心的位置，他表示：「台積電知道，利用每個業者的創新很重要。我們的創新、設備製造商的創新、客戶的創新，以及智慧財產權授權者的創新。這就是大同盟的威力所在。」這種策略對財務有深遠的影響，他表示：「台積電與其十大客戶的研發支出加起來，就超過了三星與英特爾的總和。」當業內的其他公司繞著台積電凝聚起來的時候，整合設計與製造的老舊模式

[7]
將難以與之匹敵。

台積電在半導體業的中心地位，使它必須擁有為所有的大客戶生產晶片的能力。要做到那樣的程度，成本並不低。在金融危機期間，張忠謀精心挑選的繼任者蔡力行，做了幾乎所有的執行長都會做的事：裁員及削減成本。但張忠謀想做相反的事。要讓台積電40奈米的晶片製造回歸正軌，需要投資人力與技術。要爭取更多的智慧型手機業務，就需要大舉投資晶片製造的產能——尤其是蘋果的iPhone（於2007年推出，最初是向台積電的主要競爭對手三星購買關鍵晶片）。張忠謀認為蔡力行削減成本的做法是失敗主義。「那時投資非常非常少，」張忠謀事後告訴記者，「我一直認為這家公司有能力做得更多……但這沒有發生，[8]
公司陷入停滯不前的狀態。」

於是，張忠謀撤換了繼任者，[9]
親自重掌兵符。當天台積電的股價下跌，因為投資者擔心他會推出報酬不確定的高風險支出計畫。張忠謀認為，真正的風險是接受現狀，他不會讓一場金融危機威脅到台積電競逐業界的領導地位。他在晶片製造業有長達半個世紀的輝煌記錄，從1950年代中期就開始琢磨出這番聲譽。因此，在危機最嚴重的時刻，張忠謀召回了那些被前執行長裁員的員工，並加倍投資於新產能與研發。即使面臨金融危機，他在2009年與2010年仍增加了數十億美元的資本支出。他說，[10]
「產能太多比產能不足」更好。在台積電搶占蓬勃發展的智慧型手機晶片市場時，任何想打入晶片代工業的公司，都會面臨台積電的全力競爭。2012年，張忠謀在半導體業跨入第60個年頭之際表示：「[11]
我們才剛剛開始。」

38

蘋果矽

台積電等代工廠的崛起，最大受益者是一家多數人甚至沒意識到也有在設計晶片的公司：蘋果。賈伯斯創立的公司一向專注於硬體，所以蘋果很自然會想追求自家裝置的完備，包括控制內部的矽晶片。賈伯斯從草創蘋果開始，就已經深入思考軟體與硬體之間的關係。1980年，還留著及肩頭髮、鬍子蓋住上唇的賈伯斯在一場演講中提出一個問題：「[1]什麼是軟體？」他回答：「我唯一能想到的回答是，軟體是變化太快的東西，或你還不確切知道你想要什麼的東西，或你沒時間融入硬體的東西。」

賈伯斯沒有時間把他的所有想法都放入第一代iPhone的硬體中，那支手機是使用蘋果自己的iOS作業系統，但把晶片的設計與生產外包給三星。這款革命性的新手機還有許多[2]其他的晶片：英特爾的記憶體晶片、歐勝（Wolfson）設計的音訊處理器、德國英飛凌（Infineon）生產的數據機晶片、CSR設計的藍牙晶片、Skyworks的信號放大器等等，都是其他公司設計的。

隨著賈伯斯推出新版的iPhone，他開始把他對智慧型手機的願景刻在蘋果自己的矽晶片上。iPhone上市一年後，蘋果收購了矽谷的小型晶片設計公司PA　Semi，該公司有節能處理方面的專業。不久，蘋果開始雇用一些業內最好的晶片設計師。兩年後，蘋果宣布已經設計出自己的應用處理器A4，將會用在[3]新的iPad與iPhone　4中。設計像智慧型手機處理器那樣複雜的晶片，成本非常高昂，這也是多數中低端智慧型手機的廠商從高通等公司購買現成晶片的原因。然而，蘋果在德國的巴伐利亞與以色列的研發與晶片設

計廠都投入了大量的資金，也在矽谷斥資請工程師設計最新的晶片。現在，蘋果不僅為其多數裝置設計主要處理器，也為AirPods等配件設計輔助晶片。這種對專用晶片的投資，可以解釋為什麼蘋果的產品[4]運作得那麼順暢。iPhone上市四年內，蘋果就囊括了全球智慧型手機獲利的[5]六成以上，擊敗諾基亞（Nokia）、黑莓機（BlackBerry）等競爭對手，使東亞的智慧型手機製造商只能在利潤低的廉價手機市場上競爭。

就像高通與其他啟動行動革命的晶片公司一樣，蘋果雖然設計了愈來愈多的矽晶片，但它並沒有製造任何晶片。眾所皆知，蘋果把其手機、平板電腦、其他裝置的組裝，都外包給中國組裝廠的數十萬名工人，那些工人負責把微小的零組件[6]組裝在一起。中國的組裝廠生態系統是全球製造電子設備的最佳地點。富士康、緯創等台灣公司在中國為蘋果經營這些組裝廠，這些廠房特別擅長生產手機、個人電腦，以及其他電子產品。雖然東莞、鄭州等中國城市的電子組裝廠是全球效率最高的，但它們並非無可取代。世界上還是有上億名勉強為生的農民，他們很樂於以每小時一美元的價格，把零組件裝在iPhone上。蘋果大部分的產品是富士康在中國組裝的，但也有一些是[7]在越南與印度組裝。

然而，智慧型手機內建的晶片與裝配線的工人不同，晶片很難更換。隨著電晶體的縮小，製造晶片變得更加困難。能夠製造先進晶片的半導體公司愈來愈少。到了2010年，也就是蘋果推出第一款晶片時，頂尖的代工廠已屈指可數：台灣的台積電、韓國的三星，或許格芯也算（這要看它能不能搶到市占率而定）。英特爾在縮小電晶體方面仍居全球領先地位。它依然專注為個人電腦與伺服器製造自己的晶片，而不是為其他公司的手機製造處理器。中芯國際等中國代工廠試圖迎頭趕上，

但技術依然落後多年。

因此，智慧型手機的供應鏈看起來與個人電腦的供應鏈截然不同。智慧型手機與個人電腦大多是在中國組裝，內建的高價值元件大多是在美國、歐洲、日本或南韓設計。個人電腦處理器大多是來自英特爾，在該公司設於美國、愛爾蘭或以色列的晶圓廠生產。智慧型手機則不同，它塞滿了晶片，不是只有主處理器（蘋果自己設計），還有用於連接行動網路的數據機晶片與無線射頻晶片、連接WiFi與藍牙的晶片、相機的圖像感測器、至少兩個記憶體晶片、感應動作的晶片（手機才能察覺到你何時把它橫放了），以及管理電池、音訊、無線充電的半導體。這些晶片構成了製造智慧型手機所需的大部分材料。

隨著半導體的製造產能轉移到台灣與南韓，生產這些晶片的能力也隨之轉移。應用處理器是每部智慧型手機內的電子大腦，主要是在台灣與南韓生產，然後再送到中國，裝進手機的塑膠外殼與玻璃螢幕內。蘋果的iPhone處理器完全是在台灣製造。如今除了台積電以外，沒有一家公司有製造蘋果所需晶片的技術或產能。所以每部iPhone背面刻的文字「加州蘋果公司設計，中國組裝」其實很容易讓人誤會。蘋果手機最不可替代的元件確實是在加州設計，在中國組裝，但只能在台灣製造。

39

極紫外光微影製程

在半導體業中，蘋果不是唯一一家供應鏈極其複雜的公司。到了2010年代末期，荷蘭的微影成像公司ASML已花了近20年的時間，試圖讓極紫外光（EUV）微影成像技術發揮作用。要做到這點，需要在世界各地尋找最先進的元件、最純的金屬、最強大的雷射、最精確的感測器。EUV可說是這個時代最大的科技賭注之一。2012年，在ASML產出可運行的EUV機台之前的好幾年，英特爾、三星、台積電都直接投資ASML，確保該公司有必要的資金繼續為自家未來的晶片製程開發出EUV機台。英特爾光是在2012年就向ASML投資了[1]40億美元，那是英特爾有史以來押過最大的賭注之一。而且英特爾在那之前就在EUV投入了數十億美元的補助與投資，時間可溯及葛洛夫時代。

誠如一位參與專案的科學家所述，英特爾與其他的晶片公司組成一個聯盟，為了[2]「解決一個不可能的問題」，而向幾個美國的國家實驗室「提供感覺像無窮無盡的資金」。EUV微影成像設備（台灣俗稱曝光機）背後的概念，從那時開始到現在幾乎沒什麼改變。那個概念與萊斯羅普把顯微鏡顛倒過來，大致上是相同的：使用「光罩」擋住部分光線來轉印圖案，然後曝光到塗在矽晶圓的光阻劑上。光與光阻劑產生反應，於是可以沉積材料或蝕刻成完美的圖案，進而產出晶片。

萊斯羅普是使用簡單的可見光，以及柯達公司生產的現成光阻劑。如今則是使用更複雜的透鏡與化學物質，最終在矽晶圓上轉印出小至幾百奈米的圖案。可見光本身的波長是幾百奈米，視顏色而定，所以隨著電晶體愈來愈小，最終會達到極限。晶片業後來改用波長為248奈米與

193奈米的不同類紫外線。這些波長可蝕刻的圖案比可見光精確，但它們也有極限，因此業界又把希望寄託在波長為13.5奈米的極紫外光上。

使用EUV帶來了幾乎不可能解決的新困難。萊斯羅普是使用顯微鏡、可見光，以及柯達生產的光阻劑；相反的，所有關鍵的EUV元件都必須特製，你無法直接買到EUV燈泡。為了產生足夠的EUV，需要用雷射粉碎一個小錫球。西盟（Cymer）是加州大學聖地牙哥分校的兩位雷射專家創立的公司，自1980年代以來一直是微影成像光源領域的主要參與者。該公司的工程師發現最佳做法是發射一個直徑為3000萬分之1米的小錫球，使它以時速約200英里的速度穿過真空。然後以雷射照射那顆錫球兩次，第一次是加熱它，第二次是以約50萬度的溫度（太陽表面溫度的好幾倍）把它轟擊成電漿體。這種轟擊錫滴的過程，每秒重複5萬次，就能產生製造晶片所需的EUV量。萊思羅普的微影成像技術只需要一個簡單的燈泡作為光源。從那時起，這個流程的複雜度已暴增到令人難以置信的程度。

不過，西盟的光源之所以能夠運作，是因為一種新的雷射功率足以粉碎錫滴。這需要一種比過去任何雷射都要強大的二氧化碳雷射器。2005年夏天，西盟的兩名工程師找上德國精密模具公司創浦（Trumpf），詢問它們能不能製造出這種雷射器。創浦當時製作的二氧化碳雷射器已是全球最好的，用於精密切割等工業用途。這些雷射器在德國的工業傳統中是機械加工的重要基礎。由於二氧化碳雷射器產生的能量中約80%是熱能，僅20%是光，從機器中抽出熱量是一大挑戰。創浦之前設計了一種附風扇的鼓風機系統，每秒旋轉一千次，因為速度太快而無法使用物理軸承。於是該公司學會使用磁鐵，讓風扇飄浮在空中，從雷射系統中[3]吸出熱量，又不會磨損其他元件而危及可靠性。

創浦在提供西盟所需的精確度與可靠性方面頗負盛名，而且有優良紀錄，但它能提供西盟需要的強度嗎？EUV需要的雷射器比創浦目前生產的雷射器強大許多。此外，西盟要求的精確度，也比創浦之前處理的任何東西還要精密。創浦提出一種由四個元件組成的雷射器：兩個低功

率但對每個脈衝精確計時的「種子」雷射器，使雷射每秒可命中五千萬顆錫滴；四個諧振器，增加光束的功率；一個超精確的「光束傳輸系統」，把光束引導到30多米外的錫滴室；一個最終聚焦裝置，確保雷射

4

每秒直接命中數百萬次。

每一步都需要新的創新。雷射室中的特殊氣體必須維持在恆定的密度。錫滴本身會反光，可能會反射回雷射而干擾系統。為了避免這種情況發生，就需要特殊的光學裝置。該公司需要工業鑽石來提供「窗口」，讓雷射可以透過「窗口」離開雷射室，因此必須與合作夥伴一起開發新的超純鑽石。創浦花了10年克服這些挑戰，並產出有足夠功率與可靠性的雷射器。

5

每個雷射器都需要457,329個元件。

在西盟與創浦找到轟擊錫滴的方法，使它發出足夠的EUV以後，下一步是製造鏡子來收集光，並把光導向矽晶片。製造全球最先進光學系統的德國蔡司公司，早在珀金埃爾默與GCA的時代就為微影成像系統製造鏡子與透鏡。然而，過去使用的光學元件與EUV所需要的不同，兩者之間的差異就像萊斯羅普的燈泡和西盟轟擊錫滴系統之間的差別那麼大。

蔡司面臨的主要挑戰是EUV難以反射。EUV的13.5奈米波長比較接近X光線，而不是可見光。就像X光線那樣，許多材料會吸收EUV，而不是反射EUV。蔡司開始開發由100層鉬與矽交替製成的鏡子，每層都只有幾奈米厚。勞倫斯利佛摩國家實驗室的研究人員在

6

1998年發表的一篇論文中指出，這是最佳的EUV反射鏡，但事實證明，打造這樣一面奈米級精度的反射鏡幾乎是不可能的事。最終，蔡司製造出有史以來最光滑的鏡子，雜質幾乎小到難以察覺。蔡司表示，如果把EUV系統中的反射鏡放大到德國那麼大，其最大的不規則度僅0.1毫米。為了精確地導引EUV光，它們必須完全靜止不動，這需要非常精確的機械與感測器，蔡司號稱那些機械與感測器甚至可以導引雷射，

7

擊中遠在月球的高爾夫球。

對2013年接管ASML EUV事業的范霍特來說，EUV微影成像系統最關鍵的投入不是任何個別的元件，而是公司本身在供應鏈管理方面的技能。范霍特解釋，ASML設計這個商業關係網絡[8]「就像設計一台機器」一樣，形成一個由數千家公司組成的精心調整系統，能夠滿足ASML的嚴格要求。他估計，ASML本身只生產EUV機台的15%元件，其餘都從其他公司採購。這讓ASML可以取得全球最精密的產品，但也需要持續的監控。

ASML別無選擇，只能依賴單一來源提供EUV系統的關鍵元件。為此ASML深入瞭解供應商的供應商，以瞭解風險。ASML會投資某些供應商，例如在2016年支付10億美元[9]資助蔡司的研發流程。然而，ASML也要求這些公司必須遵守嚴格的標準。ASML的執行長彼得．溫寧克（Peter Wennink）對一家供應商說：「你們不守規矩的話，我們會[10]直接把你們的公司買下來。」這不是開玩笑。ASML評估後發現自己管理這些供應商的效果更好後，就乾脆收購了幾家供應商，其中就包括西盟。

如此衍生的結果是一台有數十萬個組件的機台，花了數百億美元及幾十年的時間才開發出來。而且更奇蹟的是，不僅EUV微影成像技術可行，它還可以可靠地運作，生產出符合成本效益的晶片。對EUV系統中的任何元件來說，極度可靠非常重要。ASML設定的目標是，每個元件在需要維修之前，[11]平均至少使用3萬個小時，也就是約4年。實務上，維修還是比較頻繁，因為不是每個元件都在同一時間損壞。每台EUV機台的成本超過1億美元，因此每台只要停機1小時，晶片製造商就損失數千美元的生產。

EUV機台之所以能夠運作，有部分要歸功於軟體。例如，ASML使用預測性維護演算法來預測元件何時需要在損壞之前先更換。它也用軟

體做所謂的「運算微影成像」流程，以便更精確地轉印圖案。光波對光阻劑的反應有原子級的不可預測性，那也為EUV帶來了新的問題（以前的較大波長幾乎沒有這種問題）。為了調整光折射方式的異常，ASML機台曝光的圖案與晶片製造商希望印在晶片上的圖案是不同的。例如，要印一個X，需要用形狀完全不同的圖案，但是光波照在矽晶圓上時，

12

最終會產生一個X。

最終的產品（晶片）之所以能可靠地運作，是因為它們只有單一組成：一塊矽上覆蓋著其他金屬。晶片中沒有可移動的部件（除非你把內部快速移動的電子也算在內）。然而，生產先進的半導體，一直是依賴一些有史以來最複雜的機器。ASML的EUV微影成像設備，是史上最昂貴的量產機台。它極其複雜，用戶沒有接受ASML人員的廣泛培訓，根本不可能使用。在機台的整個生命週期，ASML的人員都會在現場。每個EUV掃描器的側邊都有一個ASML的標誌。但ASML欣然承認，該公司的專業其實是組織一個由光學專家、軟體設計師、雷射公司，以及許多其他人所組成的網絡，這些人的能力是實現EUV夢想所必需的。

要哀歎製造的外移很容易，就像葛洛夫生前那幾年那樣。美國的經濟民族主義者要是知道微影成像技術或EUV技術的歷史，發現荷蘭公司ASML把美國國家實驗室首創的一項技術加以商業化，而且主要還是由英特爾資助，肯定會氣得半死。然而，ASML的EUV機台並不是真正的荷蘭產品，雖然它們主要是在荷蘭組裝。關鍵元件是來自加州的西盟與德國的蔡司和創浦。即使是德國公司，也要依賴

13

美國生產的關鍵設備。重點是，這些神奇的機台是許多國家的產物，沒有一個國家能宣稱自己擁有一切。這個由數十萬個元件構成的機台，是許多國家的心血結晶。

葛洛夫把第一筆2億美元的資金投入EUV以前，曾問卡拉瑟斯：「這可行嗎？」經過30年及數十億美元的投資、一系列的技術創新，以及打造出世界上最複雜的供應鏈以後，到2010年代中期，ASML的EUV機台終於準備好部署在全球最先進的晶片製造廠了。

40

「沒有替代方案」

2015年，有人問嚴濤南，萬一ASML正在開發的新EUV微影成像設備無法運作，會發生什麼事。過去25年，嚴濤南一直致力投入最先進的微影成像技術。1991年，他從麻省理工學院畢業後就到德儀工作，在那裡接觸到GCA破產前生產的最後一批微影成像機台。他在1990年代末期加入台積電，當時產生193奈米波長的深紫外線微影成像技術才剛問世。近20年來，晶片業依靠這些機台來製造愈來愈小的電晶體，並運用一系列的光學技巧（例如讓光穿過水或穿過多個光罩）來讓193奈米的光波能夠形成只有其幾分之一大小的圖案。這些技巧讓摩爾定律得以延續，晶片業因此不斷地縮小電晶體，從1990年代末期的180奈米節點，進化到3D FinFET晶片的早期階段（2010年代中期，FinFET晶片已準備好量產）。

然而，能幫193奈米刻出更小細節的光學技巧是有限的。每個新的變通方法都會增加時間與成本。到了2010年代中期，一些小幅改善也許勉強還能做到，但摩爾定律需要更好的微影成像機台來刻更小的形狀。現在唯一的希望是，從1990年代初期就開始開發但嚴重耽擱的EUV機台，最終能以商業規模運作。還有別的選擇嗎？嚴濤南知道：[1]

「沒有替代方案。」

張忠謀押在EUV上的賭注，比半導體業裡的任何人都大。台積電的微影成像團隊對於EUV機台是否已經準備好量產，意見分歧。但說話溫和的台積電研發高層蔣尚義確信，EUV是唯一的前進道路。蔣尚義領導台積電的研發，一般普遍認為他是台積電頂尖製造技術的功臣。他生於重慶，跟張忠謀一樣在二戰期間為逃離日軍攻擊而舉家遷徙。他在台灣成長，後來在史丹佛大學攻讀電機，畢業後先後在德州的德儀及矽谷的惠普工作。當台積電突然打電話給他，提供一份工作機會及豐厚的簽約

獎金時，他於1997年搬回台灣，幫助建立公司。2006年，他退休回到加州，但2009年台積電在40奈米製程面臨延宕時，張忠謀感到有點沮喪，趁他回台灣之際，以一碗牛肉麵打動他，讓他回到台積電重掌研發大計。

蔣尚義曾在德州、加州、台灣工作過，總是受到台積電的雄心壯志與工作態度所感召。那股雄心壯志源自於張忠謀對世界一流技術的願景，這點從他願意投下鉅資，把台積電的研發團隊從1997年的120人擴大到2013年的7000人，即可見得。這種渴望瀰漫著整個公司，蔣尚義解釋：「台灣人工作勤奮很多。」由於製造機台占先進製造廠成本的很大一部分，因此維持設備運行對獲利非常重要。蔣尚義指出，在美國，如果凌晨一點發生故障，工程師會等到清晨再修理。在台積電，他們凌晨兩點前就修好了。他說：「他們不會抱怨，[2]

他們的配偶也不會抱怨。」蔣尚義回鍋重掌研發後，台積電開始毅然邁向EUV。他可以輕易找到願意通宵工作的員工。他要求在台積電的最大廠之一Fab　12的中間安裝三台用來測試的EUV掃描器。在公司與ASML的合作關係中，他也不惜重金，一再地[3]

測試與改進EUV機台。

格芯為7奈米節點做準備時，也跟台積電、三星、英特爾一樣考慮採用EUV。從創立之初，格芯就知道，公司如果想蓬勃發展，就需要壯大。格芯承接了AMD的晶圓廠，但那些晶圓廠遠比競爭對手的小。為了壯大，格芯於2010年收購了新加坡的晶圓代工廠[4]

特許半導體。幾年後的2014年，又收購了IBM的微電子事業，承諾為IBM生產晶片（IBM決定出售晶圓廠的理由跟AMD一樣）。IBM高階主管過去常分享一張運算生態系統的圖：[5]

一個倒金字塔，底部是半導體，上面的其他運算都依賴它。然而，IBM雖然在半導體業務的成長中扮演根本要角，但該公司的領導者認為製造晶片在財務上沒有意義。當他們面對究竟要投資數十億美元來建造先進晶圓廠，還是投資數十億美元打造高利潤軟體的決定時，他們選擇了後

者，[6]把晶片部門賣給了格芯。

2015年，拜這些收購所賜，格芯成了美國最大的代工廠，也是全球最大的代工廠之一，但與台積電相比仍是小巫見大巫。格芯與台灣的聯電競爭世界第二大代工廠的地位，兩家公司都擁有[7]約10%的代工市占率，而台積電擁有50%以上的全球代工市場。2015年，三星在晶圓代工市場的市占率只有5%，但是如果把三星生產自己設計的晶片也算進去的話（例如記憶體晶片、智慧型手機的處理器晶片），三星生產的晶圓比任何公司都多。業界標準是以每月千片晶圓為單位來衡量，台積電的產能為180萬，三星為250萬，[8]格芯僅70萬。

台積電、英特爾、三星肯定會採用EUV，雖然它們對於何時及如何採用EUV有不同的策略。格芯則不是那麼肯定，該公司在28奈米製程方面一直不太順利。為了降低延遲的風險，格芯決定從三星取得[9]14奈米製程的授權，而不是內部開發，這項決定顯示他們對自己的研發不太有信心。

到了2018年，格芯已採購一些EUV微影成像機台，並安裝在最先進的Fab 8晶圓廠中。但這時格芯的高管卻下令停工，[10]取消EUV計畫。格芯放棄了先進的新節點，不採用以EUV微影成像技術為基礎的7奈米製程（那個製程的開發已投入15億美元，若要上線運作還需要再投入差不多的金額）。台積電、英特爾、三星的財務狀況足以讓他們豁出去豪賭一番，並希望EUV能順利運作。格芯則判斷自己身為中型代工廠，永遠不可能讓7奈米製程獲利。因此格芯宣布停止生產更小的電晶體，把研發支出削減三分之一，並在經歷幾年虧損後迅速轉虧為盈。除了全球最大的晶片製造商，製造先進的處理器對一般業者來說太昂貴了。連擁有格芯股權的波斯灣王室也嫌財力不夠雄厚。於是，有能力製造先進邏輯晶片的公司再從四家減為三家。

41
英特爾如何忘了創新

美國至少可以依靠英特爾。該公司在半導體業有無與倫比的地位。雖然英特爾老一輩的領導層早就不在了（葛洛夫於2016年去世，現年90幾歲的摩爾則是到夏威夷頤養天年了），但把DRAM商業化及發明處理器的聲譽依然存在。在結合創新晶片設計與製造能力方面，找不到比英特爾聲譽更好的公司了。英特爾的x86架構仍是個人電腦與資料中心的業界標準。個人電腦市場停滯不前，因為目前看來幾乎每個人都有個人電腦了，但這對英特爾來說仍是獲利很好的事業，每年帶來數十億美元的獲利，可再投資於研發。整個2010年代，英特爾在研發上的支出逾100億美元，是台積電的四倍，也是DARPA全部預算的三倍。世界上只有幾家公司的研發支出超越英特爾。

隨著晶片業進入EUV時代，英特爾看來已準備好稱霸市場。在EUV技術的興起方面，英特爾扮演關鍵要角，這要歸功於葛洛夫在1990年代初期對這項技術投入最初的2億美元。如今，經過數十億美元的投資（其中有很大一部分來自英特爾），ASML終於開發出這項技術。然而，英特爾並沒有把握這個電晶體不斷縮小的新時代，而是浪費了領先優勢，錯過了AI所需半導體架構的重大轉變，接著又延誤了製程，未能跟上摩爾定律的步調。

如今，英特爾仍享有豐厚的利潤，它仍是美國最大、最先進的晶片製造商。然而，自1980年代葛洛夫決定放棄記憶體，把一切都押在微處理器以來，英特爾的未來比過去的任何時點更不確定。它仍有機會在未來五年重新奪回領導地位，但也可能輕易消亡。這一切攸關的不單只是一家公司，而是美國晶片製造業的未來。沒有英特爾，就再也沒有一家美國公司——或者台灣或韓國以外的工廠——有能力製造先進處理器了。

英特爾跨入2010年代時，可說是矽谷的異類。投入邏輯晶片市場的多數美國公司，包括英特爾的主要競爭對手AMD，都已經出售自己的晶圓廠，只專注於設計。英特爾堅持固守整合化的模式（把半導體設計與製造整合在一家公司裡），因為英特爾的高層認為這種模式仍是量產晶片的最佳做法。英特爾的領導人認為，該公司的設計與製程可相互優化。相較之下，台積電別無選擇，只能採用通用製程，這種製程適用於AMD的伺服器晶片，也適用於高通的智慧型手機處理器。

英特爾正確地掌握了這種整合模式的一些好處，但這也有很大的缺點。由於台積電為許多不同的公司製造晶片，它現在每年製造的矽晶圓數量幾乎是英特爾的三倍，因此

1

有更多的機會可以精進製程。此外，英特爾把設計晶片的新創企業視為威脅，台積電則把它們視為潛在客戶，可為它們提供製造服務。由於台積電只有一個價值主張——有效製造——其領導高層不斷地追求以更低的成本，製造愈來愈先進的半導體。英特爾的領導者則不得不把注意力分散在晶片設計與晶片製造上，結果兩邊都顧不好。

英特爾的第一個問題是人工智慧。到了2010年代初期，該公司的核心市場，也就是供應個人電腦的處理器，已經停滯不前。如今，除了遊戲玩家以外，幾乎沒有人會在新型處理器問世時興奮地升級個人電腦，多數人也不太去想電腦裡裝的是哪種類型的處理器。英特爾的另一個主要市場（賣伺服器處理器給資料中心）在2010年代蓬勃發展。亞馬遜網路服務、微軟Azure、Google雲端平台，以及其他的公司構建了巨大的資料中心網絡。這些資料中心的運算力構成了「雲端」。我們在網路上使用的多數資料，就是在這些公司的資料中心處理的，而每個資料中心都裝滿了英特爾的晶片。但在2010年代初期，就在英特爾稱霸資料中心這一塊事業後，處理需求開始發生變化。新興趨勢是AI，而英特爾的主要晶片在設計上無法很好地因應這項任務。

自1980年代以來，英特爾一直專注於CPU晶片，亦即中央處理器，個人電腦中的微處理器就是一例。這些晶片有如電腦或資料中心的「大腦」，是通用的工作主力，可以打開網路瀏覽器，也可以執行微軟的

Excel軟體。CPU可以做多種不同的運算，用途多元，但它們是連續地逐一處理這些運算。

在通用CPU上執行任何AI演算法是有可能的，但AI需要的運算規模導致採用CPU的成本高得嚇人。訓練單一AI模型的成本（它使用的晶片及晶片消耗的電力）可能[2]高達數百萬美元。比如說，要訓練一台電腦辨識貓，你必須向那台電腦展示大量的貓與狗，這樣它才能學會區分貓狗。你的演算法要求區分的動物愈多，需要的電晶體就愈多。

由於AI經常需要重複執行相同的運算，每次使用不同的資料，所以想辦法為AI演算法訂製晶片，才能讓AI變成經濟上可行的運用。多數公司的演算法是放在亞馬遜、微軟等大型雲端運算公司所經營的資料中心裡，所以這些雲端業者每年斥資數百億美元購買晶片與伺服器。他們為這些資料中心所支付的電費也非常驚人。當他們競相向各種公司出售雲端空間時，盡可能從晶片中擷取效率就很必要。相較於英特爾的通用CPU，針對AI優化的晶片運作得更快，占用的空間更少，也更省電。

2010年代初期，設計圖形晶片的公司輝達開始聽到傳聞，史丹佛大學的博士生把輝達的圖形處理器（GPU）用於圖形以外的其他用途。GPU的運作方式異於一般的英特爾或AMD的CPU。CPU有無限的靈活性，但所有的運算是逐一執行。相反的，GPU是同一運算同時多次反覆執行。很快大家就發現，這種「並行處理」不止可用來控制電玩中的圖像畫素，還有其他的用途，例如有效地訓練AI系統。CPU只能向演算法提供一份接一份的資料，GPU則可以同時處理多份資料。為了學習辨識貓的圖像，CPU是逐一處理每個畫素，GPU則是一次「看」多個畫素。因此，訓練一台電腦辨識貓所需的時間大幅減少了。

此後，輝達開始把公司的未來押在AI上。從創立之初，輝達就把晶片製造外包（主要是外包給台積電），專注於設計新一代的GPU，並定期精進其特殊的程式設計語言CUDA，這種語言讓人更容易設計使用輝達晶片的程式。投資者臆測，資料中心將會需要愈來愈多的GPU，輝達

因此成了

3

美國最有價值的半導體公司。

然而，輝達的崛起並不是那麼確定的事，因為大型雲端運算公司（如Google、亞馬遜、微軟、臉書、騰訊、阿里巴巴等）除了採購輝達的晶片，也開始針對自己的處理需求設計專用的晶片，並把焦點放在AI與機器學習上。例如，Google設計了張量處理器（Tensor processing unit，簡稱TPU），這種晶片的優化是配合Google的TensorFlow軟體庫一起使用。你可以用每月3000美元的價格租用Google最簡單的TPU（位於其愛荷華州的資料中心）。不過，更強大的TPU價格可達

4

每月10萬美元以上。雲端可能聽起來虛無縹緲，但幫我們儲存所有資料的矽晶片是非常真實、也非常昂貴的。

最終無論是輝達還是大型雲端運算公司勝出，英特爾近乎壟斷資料中心處理器的局面都將結束。如果英特爾已找到新的市場，失去這個主導地位就不是那麼嚴重的問題。然而，英特爾在2010年代中期進軍代工業務，試圖與台積電正面競爭，但終告失敗。英特爾試圖向任何尋求晶片製造服務的客戶開放其生產線，等同於承認整合與製造的模式並不像英特爾高層宣稱的那麼成功。英特爾具備成為一家主要代工廠的一切要件，包括先進技術與巨大產能，但成功需要重大的文化變革。台積電對智慧財產權的態度是開放的，反之英特爾是封閉且保密的。台積電是服務導向，英特爾認為客戶應該遵循它的規則。台積電不與客戶競爭，因為它沒有設計任何晶片；英特爾是晶片業的巨擘，其晶片幾乎與所有的同業競爭。

2013年至2018年擔任英特爾執行長的布萊恩．科再奇（Brian Krzanich）公開堅稱：「過去幾年，我基本上一直在經營

5

我們的代工事業。」他也描述這項業務「策略上很重要」，但客戶看來並非如此，他們認為英特爾並未優先看待代工客戶。在英特爾內部，代工業務

6

並未獲得優先考量。相較於製造個人電腦與資料中心的晶片（仍是利潤豐厚的業務），英特爾這項新的代工事業幾乎得不到內部支援。因此，2010年代英特爾投入代工業務時，只獲得一個大客戶，代工業務[7]經營短短幾年後就關閉了。

隨著2018年英特爾50週年紀念日的來臨，這家公司也開始衰頹，市占率萎縮，官僚氣息令人生厭，創新不再。壓倒一切的最後一根稻草，是英特爾使摩爾定律無法延續，規劃的製程改善一再延誤，目前仍難以修正。2015年以來，英特爾一再宣布推遲10奈米與7奈米的製程，而台積電與三星已經領先。

英特爾幾乎沒有解釋[8]出了什麼問題。這五年來，英特爾一再宣布「暫時的」生產延期，技術細節都掩藏在員工的保密協議中。多數業內人士認為，英特爾的許多問題源自於[9]延遲採用EUV機台。到了2020年，英特爾長年資助開發的EUV微影成像機台中，有半數已經[10]安裝在台積電。相反的，英特爾才剛開始在製程中使用EUV。

隨著2010年代的結束，僅兩家公司有能力製造最先進的處理器：台積電與三星。對美國來說，這兩家公司都有同樣的問題：它們的地理位置。現在，全球最先進的處理器都在台灣與南韓生產，而這兩國都與美國正在崛起的戰略對手——中國——近在咫尺。

▲ 荷蘭的ASML公司製造最先進的微影成像機，這種機器是用來製作數百萬個微型電晶體的圖案，每個電晶體都遠比人體的細胞還小。每台機器的成本都超過1億美元，由數十萬個元件組成。（ASML）

▲ 如今，先進晶片有微小的3D立體電晶體，每個電晶體都比新冠病毒還小，僅幾奈米寬（1奈米等於1米的十億分之一）。（IBM）

第七部

中國的挑戰

42

中國製

2014年，中共中央總書記習近平宣稱：「沒有網絡安全就沒有國家安全，沒有信息化[1]就沒有現代化。」習近平的父親是中國早期的共產黨領導人之一，習近平在大學讀的是工程，後來他在政壇嶄露頭角，是憑著如變色龍一般的身段，能展現出特定受眾想要的任何形象。對中國的民族主義者來說，他的「中國夢」計畫承諾了民族復興與大國地位。對於企業，他誓言推動經濟改革。有些外國人甚至覺得習近平其實是民主主義者，《紐約客》在他上台後立即表示，習近平是一位「意識到中國必須進行[2]真正的政治改革的領導人」。大家唯一可以確定的是，習近平確實有從政的天賦。他的觀點就隱藏在緊閉的嘴唇與偽裝的微笑之後。

在那微笑的背後，是一種揮之不去的不安全感。在習近平統治中國的10年裡，那種不安全感持續推動著他的政策。他認為最主要的風險在於數位世界。多數觀察家都認為，在保障他個人的數位安全方面，習近平沒什麼好擔心的。中國領導人擁有全球最有效的網路控制系統，雇用數千名審查員來監管[3]網路上的交流內容。中國的防火牆使中國公民無法造訪網路上的大片區域，斷然推翻了西方對網路的預測。西方預測網路將成為一股解放的政治力量，傳播民主價值觀。然而，習近平覺得自己在網路上強大到可以嘲笑西方的這種信念。他宣稱「

互聯網讓世界變成了地球村，」卻避而不談中國直接禁止許多世界上最受歡迎的網站，如Google與臉書。他心目中的全球網路，與網路初期的烏托邦不同。他心目中的全球網路是中國政府可用來恣意展現權力的網路。他在另一個場合宣布：「我們要鼓勵和支持我國網信企業走出去，深化互聯網國際交流合作，積極參與『一帶一路』建設。」這是指讓世界融入中國建造的基礎建設，這些基礎建設不僅包括道路與橋樑，也包括網路設備與審查工具。

利用數位世界達到專制目的，中國是做得最成功的國家。中國馴服了美國的科技巨擘。Google與臉書遭到屏蔽，由百度、騰訊等本土公司所取代，這些公司在技術上與美國的競爭對手不相上下。蘋果、微軟等獲准進入中國市場的美國科技公司，也是因為同意配合中國的審查工作。中國讓網路順從其領導人所願的程度，遠遠超過了其他國家。外國的網路與軟體公司必須服從共產黨想要的任何審查規則，否則只能放棄進入那個龐大的市場。

既然如此，習近平為什麼還擔心數位安全呢？中國領導人對中國的技術能力瞭解得愈多，就愈察覺到他們的網路公司重要性似乎不那麼高。靠1與0運作的中國數位世界，主要都是在進口的半導體上處理與儲存。中國的科技巨擘需要資料中心，而資料中心裡都是外國的晶片，大多是美國生產的。愛德華．史諾登（Edward Snowden）逃往俄羅斯以前所洩露的檔案，顯示出美國的網路竊聽能力，甚至連中國的網路監聽專家也感到訝異。中國公司在開發電子商務、線上搜尋、數位支付等軟體方面複製了矽谷的專長，但這些軟體都需要依賴外國的硬體。說到支撐運算的核心技術，中國極其依賴外國的產品，其中有許多產品是矽谷設計的，而且幾乎所有的產品都是由美國公司或其盟友生產的。

習近平認為這是一種難以防守的風險。2016年，習近平宣稱：「一個互聯網企業即便規模再大、市值再高，如果核心元器件嚴重依賴外國，供應鏈的『命門』就

掌握在別人手裡。」習近平最擔心的核心技術是什麼？一是軟體產品：

微軟Windows。儘管中國一再努力開發有競爭力的中國作業系統，中國大多數的個人電腦還是使用微軟Windows。然而，習近平認為更重要的核心技術，是啟動中國的電腦、智慧型手機、資料中心的晶片。他提到：「微軟的視窗操作系統[6]只配對英特爾的芯片。」因此，中國的多數電腦[7]都需要美國的晶片才能運行。在2000年代與2010年代的多數時間，中國進口半導體的支出，[8]比進口石油的支出還多。在推動中國的經濟成長方面，強大的晶片與石油一樣重要。然而，與石油不同的是，晶片的供給遭到中國的地緣政治對手所壟斷。

多數的外國人很難理解中國為什麼會緊張。這個國家不是已經建立了價值數千億美元的大型科技公司了嗎？報紙頭條一再宣稱中國是領先全球的科技強國之一。前Google大中華區總裁李開復寫的書《AI新世界》（*AI Superpowers*）亦指出，中國是全球兩大AI超級大國之一。中國打造了一個融合AI與威權主義的二十一世紀系統，[9]充分利用監控技術。但即使是追蹤中國異議人士與少數民族的監控系統，也是依賴[10]英特爾與輝達等美國公司的晶片。中國所有最重要的技術，都是建立在進口矽晶片這塊脆弱的基礎上。

中國領導人深知他們的國家應該在國內製造更多的晶片。這不單只是為了避免供應鏈的脆弱。中國與鄰國一樣，唯有生產中國領導人所謂的「核心技術」（世界其他地區不可或缺的產品），才有可能獲得更有價值的業務。否則中國可能只能延續蘋果手機那種低利潤的營運模式。數以百萬計的中國人參與了手機的組裝，但這些裝置賣給最終用戶時，蘋果賺走了大部分的錢，其餘的利潤大多歸屬每部手機內建晶片的製造商。

中國領導人面臨的問題是，如何轉型成有能力生產出全球夢寐以求

的晶片。當日本、台灣、南韓想打入晶片業複雜又高價值的環節時，他們為本土的半導體公司挹注了大量的資金，號召政府投資，但也對民間銀行施壓，要求銀行放貸。再者，他們試圖吸引在美國大學求學以及在矽谷工作的科學家與工程師返國。第三，他們與外國公司建立合作夥伴關係，但要求外國公司轉移技術或培訓本土勞工。第四，他們促使外國人相互較勁，利用矽谷公司之間的競爭（後來又利用美國公司與日本公司之間的競爭）為自己爭取最好的條件。李國鼎在協助創立台積電時曾對張忠謀說：「我們想在台灣[11]建立半導體產業。」習近平當然也想建立半導體產業，這一點也不令人意外。

43

「把衝鋒號吹起來」

2017年1月，就在川普就任美國總統的三天前，習近平獲邀到瑞士達沃斯（Davos）舉行的世界經濟論壇上演講，闡述中國的經濟願景。當他承諾以「充滿活力、創新導向的成長模式」來創造「雙贏」時，現場的執行長與億萬富豪都禮貌地鼓掌。他也宣稱：「[1]沒有人會成為貿易戰的贏家。」這一席話毫不隱晦地挖苦了即將上任的美國總統。三天後，川普在華盛頓發表了措辭出奇激進的就職演說，他譴責「其他國家製造我們的產品，竊取我們的公司，摧毀我們的就業機會」。川普不支持貿易，而是宣稱[2]「保護將帶來蓬勃與強大」。

習近平的演說，是那種全球領導人對商業大亨演講時該說的場面話。習近平捍衛經濟開放與全球化、反對川普與英國脫歐等民粹衝擊的說法，獲得了媒體的吹捧。名嘴伊恩．布藍默（Ian Bremmer）在推特上發文：「他聽起來[3]比美國總統當選人更像總統。」《金融時報》的頭版頭條寫道：「[4]習近平力捍全球化。」《華盛頓郵報》宣稱：「在民粹主義的反抗中，世界各國領導人在達沃斯找到了[5]全球化的希望。」世界經濟論壇的主席克勞斯．史瓦布（Klaus Schwab）說：「國際社會都[6]把目光投向了中國。」

習近平首次出席達沃斯盛會的幾個月前，他在北京舉行的「網絡安全和信息化」會議上對中國的科技巨擘與共產黨領導人發表了一場基調

全然不同的演講。現場聽眾包括華為創辦人任正非、阿里巴巴執行長馬雲、知名解放軍研究人員，以及中國的多數政要。習近平敦促中國應該「盡快在核心技術上取得突破」。最重要的是，「核心技術」就是在說半導體。習近平沒有呼籲貿易戰，但他的願景聽起來也不像貿易和平。「推動強強聯合、協同攻關。要打好核心技術研發攻堅戰……不僅要把衝鋒號吹起來，而且要把集合號吹起來，也就是要把最強的力量積聚起來共同幹，

7

組成攻關的突擊隊、特種兵。」看來川普不是唯一把軍事比喻與經濟政策混為一談的世界領導人。晶片業面臨著來自世界第二大經濟體及統治該經濟體的一黨專政國家的組織化攻擊。

中國的領導人指望透過市場與軍事手段的結合，在國內開發先進的晶片。雖然習近平把對手關進牢裡，成為毛澤東以來最有權勢的中國領導人，但他對中國的控制並非絕對的。他可以關押異議份子，甚至審查網路上最隱晦的批評，但他的經濟議程在許多方面，從產業結構調整到金融市場改革等等，依然胎死腹中，被偏好維持現狀的

8

共產黨官僚與地方政府官員所阻撓。官員面對來自中央的討厭指示，經常拖拖拉拉，不願行動。

不過，習近平的軍事言論不單只是為了動員那些官僚而採取的計策。隨著時間經過，中國技術地位的不穩定變得日益明顯。中國的半導體進口量連年增加。晶片業正以對中國不利的方式轉變。中國國務院在一份科技政策報告中指出：「投資規模迅速上升，

9

市場份額加速向優勢企業集中。」這些主導企業（主要是台積電與三星）將很難被取代。然而，中國的領導者也意識到，在「雲端運算、物聯網、大數據」的推動下，晶片的需求正「爆炸性增長」。這些趨勢很危險：晶片變得更加重要，但最先進晶片的設計與生產卻由少數幾家公司壟斷，而且這些公司都不在中國。

中國的問題不止在晶片製造而已。在生產半導體的過程中，中國幾乎每一步都極其依賴外國技術，而且這些技術幾乎都由中國在地緣政治

上的對手（台灣、日本、韓國或美國）所掌控。喬治城大學安全與新興技術中心的學者彙整的[10]資料顯示，用於設計晶片的軟體工具是由美國公司主導，中國在全球軟體工具市場的市占率不到1%。核心智慧財產權是電晶體模式的基石，許多晶片都是利用那些模式設計出來的，而中國在這方面的市占率是2%，其餘大多是由美國或英國公司囊括。在矽晶圓及其他的晶片製造材料方面，中國的市占率是4%；在晶片製造機台方面，中國的市占率是1%；在全球晶片設計市場方面，中國的市占率是5%。在晶片製造業務中，中國只有7%的市場，而且這些製造都不涉及高價值的先進技術。

喬治城大學的那份研究顯示，在整個半導體供應鏈中，加總晶片設計、智慧財產權、機台、製造、其他步驟的影響，中國企業的市占率為6%，而美國是39%，南韓是16%，台灣是12%。中國生產的幾乎每塊晶片，都可以在其他地方製造。在先進的邏輯、記憶體、類比晶片方面，中國非常依賴美國的軟體與設計；依賴美國、荷蘭、日本的機器；也依賴南韓與台灣的製造。這也難怪習近平會擔心。

隨著中國的科技公司進一步向雲端運算、自駕車、AI等領域推進，他們對半導體的需求勢必會增加。仍是現代資料中心主力的x86伺服器晶片，依然是由AMD與英特爾主導。中國沒半家公司生產有商業競爭力的GPU，所以中國必須依靠輝達與AMD[11]取得這類晶片。如果中國真的如中國支持者所承諾以及中國政府所希望的那樣，成為AI超級大國，中國對外國晶片的依賴只會愈來愈高，除非中國找到自己設計及製造晶片的方法。習近平呼籲「組成攻關的突擊隊、特種兵」，這項呼籲看來非常緊迫。中國政府制定一項名為《中國製造2025》的計畫，計畫在2025年以前把中國進口的晶片比率從85%降至30%[12]（亦即把晶片自給率提升至70%）。

自中華人民共和國成立以來，每位中國領導人都想發展半導體業。

毛澤東的文化大革命夢想每個工人都能自己生產電晶體，結果徹底失敗。幾十年後，中國領導人招募張汝京來創立中芯國際，「與中國人分享上帝的愛」。他打造了一個可運作的代工廠，但難以獲利，又遭到台積電祭出連串的智慧財產權訴訟所衝擊。最終，張汝京黯然離去，[13] 中國政府取代了民間投資者。到了2015年，中國工業和信息化部的一名前官員被任命為中芯國際的董事長，鞏固了中芯國際與中國政府的關係。中芯國際在製造實力方面，仍持續明顯落後台積電。

不過，中芯國際在中國的晶片製造業中，還算是一個比較成功的例子。華虹與宏力這兩家中國代工廠幾乎沒有市占率可言，主要是因為掌控它們的國有企業與市政府不斷地干預它們的商業決策。一家中國代工廠的前執行長解釋，每位省長都希望在自己的省建一座晶片製造廠，為了確保工廠建成，他們提供各種補貼，也祭出隱晦的威脅。因此，中國的代工廠最終變成一批[14] 遍布全國的低效小廠。外國人以為中國晶片業有巨大的潛力，但前提是要先解決那些糟糕的公司治理與營運流程。一位歐洲半導體公司的高層解釋：「一家中國公司說：『我們來開一家合資企業吧。』我覺得聽起來是在說：[15] 『我們一起來賠錢吧。』」那些確實成立的合資企業，普遍沉迷於政府補貼中，很少產出有意義的新技術。

2000年代，中國的補貼策略並未創造出一個領先的國內晶片業。然而，中國在政治上無法容忍毫無作為，也就是放任對外國半導體的持續依賴。因此早在2014年，中國政府就為了支持晶片業的新躍進，決定加倍補貼半導體，推出後來所謂的「大基金」[*1] 。這項基金的主要「投資者」包括中國財政部、國有的中國國家開發銀行，以及其他國有公司，包括中國菸草公司，以及北京、上海、武漢[16] 市政府的投資機構。一些分析師稱讚這是一種[17]

國家支持的「創投」新模式，但迫使中國國有的菸草公司來資助半導體業，其實與矽谷的創投營運模式相去甚遠。

中國政府得出中國晶片業需要更多資金的結論是正確的。2014年該基金成立時，先進晶圓廠的成本遠遠超過100億美元。據報導，整個2010年代，中芯國際的營收每年才20幾億美元，不到台積電的十分之一。光靠民間資金，不可能複製台積電的投資計畫，[18]只有政府有本錢冒這種風險。中國投入晶片補貼與「投資」的金額難以估量，因為大部分的支出是由地方政府與不透明的國有銀行提供，但一般普遍認為規模可達數百億美元。

然而，中國政府不想與矽谷有任何關連，而是希望擺脫矽谷，這導致中國處於不利的地位。日本、南韓、荷蘭、台灣藉由與美國晶片業的深度融合，在半導體製程的重要環節中占據了主導地位。台灣代工業的繁榮，是受惠於美國的無晶圓公司。而ASML的最先進微影機台之所以能運作，全靠該公司聖地牙哥子公司所生產的專用光源。這些國家之間的貿易關係雖然偶爾出現緊繃，但它們有相似的利益與世界觀，因此它們把晶片設計、機台、製造服務方面的相互依賴，當成為全球化生產的效率付出的合理代價。

如果中國只是想在這個生態系統中扮演更大的角色，那種野心原本是有可能實現的。然而，中國並不想在一個由美國及其盟友主導的系統中尋找更好的位置。習近平呼籲「打好攻堅戰」，並不是要求中國略微提高市占率。他是要求改造全球的半導體業，而不是與之融合。中國一些經濟政策的制定者與半導體業的高層可能更想要深入融合的策略，但中國領導人對安全的重視更勝於效率，他們認為相互依賴是一種威脅。《中國製造2025》計畫並未提倡經濟整合，而是相反，它呼籲減少中國對進口晶片的依賴。《中國製造2025》的首要目標，是[19]降低中國使用的外國晶片比例。

這個經濟願景有可能改變貿易流動與全球經濟。自從快捷半導體在

香港設立第一家工廠以來，晶片貿易協助推動了全球化。中國改造半導體供應鏈的願景所涉及的美元價值非常驚人。2017年中國的晶片進口額是2600億美元（也就是習近平首次出席達沃斯那年），遠遠超越了沙烏地阿拉伯的石油出口額，或德國的汽車出口額。中國每年花在購買晶片上的金額，比全球飛機的交易總額還多。在國際貿易中，找不到比半導體更重要的產品了。

這個願景所牽涉的利益，不單只是矽谷的獲利而已。如果中國實現了在半導體領域自給自足的願景，鄰國都會蒙受更大的損失，因為那些鄰國的經濟大多仰賴出口。2017年，積體電路占南韓出口的15%，新加坡的17%，馬來西亞的19%，菲律賓的21%，台灣的36%。《中國製造2025》對這些數字都提出了質疑。這事關全球最密集的供應鏈與貿易流動網絡。電子業在過去半個世紀，支撐了亞洲的經濟成長與政治穩定。

當然，《中國製造2025》只是一個計畫，政府的計畫往往是以慘敗告終，而且中國在推動先進晶片的生產方面，實在是乏善可陳。然而，中國可利用的工具，例如巨額的政府補貼、國家支持的商業機密竊取，利用進入全球第二大消費市場的機會來脅迫外國公司遵守其規定等等，這些都讓中國擁有無與倫比的能力，足以塑造晶片業的未來。如果說這世上有哪個國家能夠做到如此雄心勃勃的貿易轉型，也只有中國有此能耐了。那個地區有許多國家都認為，中國有可能成功。台灣的科技業開始擔心台灣所謂的[20]「紅色供應鏈」——中國公司強行進入台灣以前主導的高價值電子元件領域。不難想像，半導體可能是下一個。

習近平呼籲中國政府及中國公司「要打好核心技術研發攻堅戰」。早在它撼動西方以前，這個呼籲就已經在東亞掀起反響。川普在推特上發表的保護主義聲明，引起了數百萬人轉發。但中國有一項計畫，有強大的工具，還有40年以來以經濟與技術能力震驚世界的驚人記錄。中國想在半導體業獨立的願景，有可能顛覆全球化，並轉變全球交易最廣

泛、最有價值的商品的生產。2017年習近平在達沃斯演講時，現場沒有人注意到他那番陳腔濫調的背後所涉及的利害關係，但即使是川普這樣的民粹主義者，都無法想比那更激進的全球經濟改造。

*1 全名是「國家集成電路產業投資基金」。

44

技術轉移

中國發展論壇是中國政府在北京舉辦的年度盛會。在2015年的中國發展論壇上，IBM執行長羅睿蘭（Ginni Rometty）對觀眾說：「如果你是一個像中國這樣有13億人口的國家，你會想要一個IT產業。我想，有些公司可能會覺得那很可怕。不過[1]IBM覺得那是很好的機會。」在所有的美國科技公司中，沒有一家公司與美國政府的關係比IBM更密切。近一個世紀以來，IBM為美國最敏感的國家安全應用程式打造了先進的電腦系統。IBM的員工與國防部及美國情報機構的官員有深厚的私人關係。史諾登在逃往莫斯科以前，竊取並洩露了有關美國對外情報行動的檔案。那些檔案顯示，IBM疑似[2]與美國的網路監控單位有合作關係，這個發現並不令人意外。

在史諾登洩密事件爆發後，中國公司轉向其他的業者購買伺服器與網路設備，IBM在中國的業績因此暴跌了20%。IBM的財務長馬丁．施羅特（Martin Schroeter）告訴投資者：「中國正在經歷[3]一系列重大的經濟改革。」這個說法巧妙地解釋了中國政府藉由限制IBM的銷售來懲罰IBM。羅睿蘭決定利用半導體技術，主動和中國官方和解。2014年後的那幾年，她多次造訪中國，會見了國務院總理李克強、北京市市長王安順、國務院副總理馬凱等[4]中國高層官員，馬凱曾負責推動中國晶片業的轉型升級。據路透社報導，IBM對媒體表示，羅睿蘭多次造訪北京的目的是為了「強調這家科技巨擘對當地的合夥關係、未來合作、[5]資訊安全的承諾」。中國的官媒新華社在談到交換條件時更是直言不

諱。該報指出，羅睿蘭與馬凱討論了

6

「加強集成電路領域的合作交換」。

中國在推動半導體自給自足的過程中，伺服器晶片是一大重點領域。2010年代中期和現今非常類似，全球的資料中心主要是使用x86指令集架構的晶片，雖然輝達的GPU正開始搶攻市占率。僅三家公司擁有生產x86晶片所需的智慧財產權：美國的英特爾與AMD，以及台灣的小公司威盛。實務上，英特爾主導了市場。IBM的Power晶片架構曾在企業伺服器領域扮演重要的角色，但在2010年代失去地位。一些研究人員認為，在行動裝置上很熱門的ARM架構，可能也會在未來的資料中心裡扮演要角，但當時以ARM架構為基礎的晶片在伺服器市場的

7

市占率很小。無論是什麼架構，中國國內幾乎都沒有能力生產有競爭力的資料中心晶片。中國政府決心取得這項技術，對美國公司施壓，迫使那些公司把技術轉移給中國的合作夥伴。

主導伺服器晶片市場的英特爾，幾乎沒有動機與中國政府在資料中心處理器上達成協議（但英特爾在地位較弱的行動晶片與NAND記憶體晶片市場上，分別與中國政府支持的公司及地方政府達成協議）。不過，在資料中心市場上輸給英特爾的美國晶片製造商，正在尋找競爭優勢。例如，IBM的羅睿蘭宣布了一項吸引中國政府的策略改變。她宣布IBM將向中國的合作夥伴開放其晶片技術，而不是試圖向中國客戶銷售晶片與伺服器。她解釋，這將使中國的合作夥伴有能力「創造一個充滿活力的新生態系統，由中國公司為本地與國際市場生產

8

國產的電腦系統」。IBM決定以技術換取市場，這個決定在商業上很有道理。一般認為IBM的技術普通，要是沒有中國官方的批准許可，不太可能扭轉史諾登事件後的市場萎縮。此外，IBM同時也正努力把其全球業務從銷售硬體轉為銷售服務，因此分享其晶片設計似乎很合理。

然而，對中國政府來說，這種合作不單只是商業考量。據《紐約時報》報導，參與取得IBM新晶片技術的中國人員之一，是中國核彈武器庫的前網路安全長沈昌祥。一年前，沈昌祥還警告，與美國公司合作有

[9]
「巨大的安全風險」。現在他似乎認為，IBM主動提議轉移晶片技術，是支持中國的半導體策略與中國的國家利益。

IBM不是唯一願意幫助中國公司開發資料中心晶片的公司。約莫同一時間，專門生產智慧型手機晶片的高通公司，也試圖使用ARM架構打入資料中心晶片事業。與此同時，高通正與中國的監管機關抗爭，因為中國的監管機關希望高通削減它向中國的公司收取的智慧型手機晶片技術授權費，但授權費是高通的[10]主要收入來源。中國是高通晶片的最大市場，所以中國對高通有很大的談判籌碼。高通與中國官方解決價格糾紛後不久，就同意與中國企業華芯通成立合資公司，共同開發伺服器晶片，有一些產業分析師看出了其中的關聯，他們指出，華芯通之前並沒有設計[11]先進晶片的經驗，但其總部位於貴州省，省委書記是當時前景看好的中共官員陳敏爾。

高通與華芯通的合資企業並沒有持續很久。因為幾乎沒有產出價值，該合資企業於2019年關閉。但有一些研發出來的專業技術似乎已經轉移給其他製造ARM型資料中心晶片的中國公司。例如，華芯通參與了一個開發省電晶片的聯盟，另一家製造ARM型晶片的中國公司飛騰（Phytium）也是[12]該聯盟的一員。至少有一名晶片設計師似乎在2019年離開華芯通，[13]跳槽到飛騰，後來美國指控飛騰幫中國軍方設計高超音速武器之類的先進武器系統。

不過，最有爭議的技術轉移例子，是英特爾的主要競爭對手AMD。在2010年代中期，AMD陷入財務困境，個人電腦與資料中心的市占率皆被英特爾搶走。AMD從未瀕臨破產邊緣，但離破產也不遠了。隨著AMD推出新產品上市，公司為了爭取生存時間也不斷在尋找現金。例如，2013年，AMD為了募集資金而出售了德州奧斯丁的企業總部。

2016年，AMD以3.71億美元的價格，把它在馬來西亞檳城及中國蘇州的半導體組裝、測試、封裝廠的85%股份，賣給一家中國公司。AMD稱這些設施都是

14

「世界級的」。

同年，AMD與一個由中國公司及政府機構所組成的聯盟

15

達成一項協議，授權生產為中國市場修改的x86晶片。這筆交易在業內與華府都引起極大的爭議，因為這筆交易的設計不需要獲得CFIUS的批准（CFIUS是負責審查外國收購美國資產的美國政府委員會）。AMD把這筆交易提交給商務部的相關部門審查，但誠如一位業內人士所言，商務部

16

「對微處理器、半導體或中國一無所知」。據報導，英特爾曾經針對這筆交易向美國政府發出警訊，暗示那筆交易損害了美國的利益，並將威脅到英特爾的事業。然而，政府欠缺直接的阻止方式，因此那筆交易最終還是通過了，並引發了國會與國防部的憤怒。

就在AMD敲定協議之際，它開始推出新的處理器系列Zen，扭轉了公司的命運，因此AMD最終得以存續也

17

並不是依賴授權協議的資金。然而，合資企業已經簽約，技術已經轉移。《華爾街日報》刊登了多篇報導，聲稱AMD出售了「壓箱寶」及「王國密鑰」。其他的產業分析師表示，那筆交易的目的是為了讓中國公司向中國政府宣稱，他們正在中國設計先進的微處理器，但實際上他們

18

只是在微調AMD的設計。英文媒體把這筆交易描寫成次要的授權合約，但中國的主要專家告訴官方媒體，那筆交易幫中國實現了「核心技術」的國產化，這樣一來，「我們就再也不會被牽著鼻子走了」。反對這筆交易的國防部官員也認為，AMD嚴格遵守了法律條文，但他們仍不相信這筆交易像辯護者所說的那樣無害。一位國防部的前官員表示：「我依然非常懷疑我們是否有從AMD獲得完整的詳情。」據《華爾街日報》的

報導，這家合資企業涉及中國的超級電腦公司曙光（Sugon），那家公司把「為中國的國防與安全做出貢獻」列為其[19]「根本使命」。AMD在2017年發布的新聞稿中稱曙光為「策略夥伴」，這[20]肯定會引起華府的懷疑。

顯然，就像美國商務部長吉娜．雷蒙多（Gina Raimondo）於2021年所解釋的，曙光希望獲得協助來打造世界領先的超級電腦，這些電腦通常是用來開發[21]「核武與高超音速武器」。美國著名的解放軍研究專家埃爾莎．卡尼亞（Elsa Kania）指出，曙光本身就有標榜[22]它與中國軍方的關連。即使川普政府決定把曙光列入黑名單，切斷其與AMD的關係後，晶片業分析師安東．西洛夫（Anton Shilov）仍發現曙光電路板上安裝了曙光應該買不到的AMD晶片。AMD告訴記者，他們並沒有為那電路板提供技術支援，也不確定曙光[23]是如何取得AMD晶片的。

中國市場非常誘人，對企業來說，要避免技術轉移幾乎不可能。一些公司甚至是在誘導下，轉讓了中國子公司的所有掌控權。2018年，設計晶片架構的英國公司ARM把其中國部門拆分出去，並把ARM中國部門的51%股份出售給一群投資者，只保留其餘49%的股份。兩年前，ARM被日本公司軟銀收購，軟銀在中國的科技新創企業投資了數十億美元。因此，軟銀的投資成功與否，有賴中國監管部門的優惠待遇。ARM面臨美國監管機構的審查，美方擔心ARM在中國的業務會導致它很容易受到[24]中國政府的政治施壓。軟銀在2016年以400億美元的價格收購ARM，但僅以7.75億美元的價格出售ARM中國部門[25]51%的股份——據軟銀統計，ARM中國部門占ARM全球銷售額的五分

之一。

把ARM的中國部門拆分出去的邏輯是什麼？沒有確切的證據顯示中國官員對軟銀施壓，要求軟銀出售ARM的中國子公司。不過，ARM的高層倒是很坦白地描述其中的邏輯。ARM的一位高層告訴《日經新聞》：「如果有人正在為中國軍方或中國的監控系統打造晶片系統，中國會希望那個系統只在中國內。有了這種新的合資企業，這家公司就可以發展出那樣的系統。[26]以前，那是我們做不到的。」那位主管繼續說：「中國想要安全且可控的東西。最終，他們希望掌控自己的技術……如果它是以我們帶來的技術為基礎，我們可以從中受益。」無論是監管軟銀的日本官員，還是監管ARM的英國官員，或是對ARM很大一部分的智慧財產權擁有管轄權的美國官員，都沒有選擇調查這件事的影響。

晶片公司根本無法忽視這個全球最大的半導體市場。當然，晶片製造商小心翼翼地保護著自己的關鍵技術。但幾乎每家晶片公司在他們沒有領先的子領域都擁有非核心的技術，而他們很樂意以某個價格分享那些技術。此外，當公司失去市占率或需要融資時，他們其實沒有餘裕放眼長期。這給了中國很多的籌碼來誘使外國晶片公司轉移技術、開放生產設施，或授權智慧財產權，即便外國公司明明知道他們正在幫忙培育競爭對手。對晶片公司來說，在中國募集資金通常比在華爾街來得容易。接受中國資本可能是在中國做生意的一個隱性要求。

IBM、AMD、ARM在中國達成的交易，從它們自己的角度來看是由合理的商業邏輯推動的。整體而言，這些公司冒著技術外洩的風險。美國與英國的晶片架構和設計以及台灣的代工廠，在中國的超級電腦開發計畫中扮演重要的角色。與10年前相比，儘管中國的能力仍明顯落後於頂尖科技，但中國在設計及生產資料中心所需的晶片方面，對外國的依賴程度已經大大降低。IBM的執行長羅睿蘭認為，與中國達成技術轉移協議是「很好的機會」，這想法確實沒錯，她唯一的錯誤是以為她的公司會是受益者。

45

「合併勢必會發生」

對趙偉國來說，從中國西部邊疆餵豬養羊的童年，到中國媒體譽為[1]晶片億萬富豪，是一條曲折的漫漫長路。他的父親在文革期間因創作顛覆性的詩歌而被發放新疆，他從小在新疆成長，但從不打算一輩子在鄉間放牧。後來他考上中國名校清華大學，取得電機學位。從中國開始投入半導體以來，清華大學一直引領著中國半導體業的發展。不過，趙偉國在學生時代究竟學了多少電晶體與電容器方面的專業知識，則不得而知。取得學士學位後，他在一家科技公司工作，後來轉往投資界發展，成為紫光集團的副總裁。這家公司是由他的母校清華大學建立的，目的是把大學的科學研究轉為營利事業，但這家公司似乎在房地產領域投入大量資金。趙偉國在這裡獲得了撮合企業交易的聲譽，並[2]踏上累積億萬財富之路。

2004年，趙偉國成立自己的投資基金：北京健坤投資集團，投資房地產、礦業與其他產業。在那些領域，投資獲利的關鍵通常是與政治高層的關係。豐厚的財務報酬隨之而來，據報導，趙偉國把100萬人民幣的初始投資，變成了45億人民幣。2009年，趙偉國用那些財富買下了前雇主紫光集團的49%股份，清華大學繼續持有另51%的股份。這是一筆奇怪的交易：一家私人的房地產投資公司如今竟然擁有一家公司近半數的股份，而這家公司原本應該把中國一流研究型大學研發的技術加以商業化變現，但紫光從來都不是一家「普通」的公司。中國前國家主席胡錦濤的兒子據傳[3]與趙偉國有私交，曾在擁有紫光集團的控股公司裡擔任黨委書記。與此同時，2000年代的清華大學校長則是[4]習近平的大學室友。

2013年，購買紫光集團的股份四年後，就在中國共產黨宣布向中國的半導體公司提供巨額補貼的新計畫之前，趙偉國覺得投資晶片業的時候到了。他否認紫光的半導體策略是為了迎合政府的期望。2015年他接受《富比士》採訪時表示：「大家都認為政府在推動晶片業的發展，但事實並非如此。」他認為自己才是吸引中國官方關注晶片業的功臣。「我們公司先做了一些事情，後來政府才注意到……我們[5]所有的交易都是市場導向的。」

然而，大多數的分析師並不會以「市場導向」來描述趙偉國的策略。他沒有投資最好的晶片公司，而是看到市場上有什麼就買什麼。他口中的紫光投資策略，既看不出精妙之處，也沒有太複雜的內容。「你帶著槍上山時，不會知道那裡有沒有獵物，」報導引用他的說法，「也許你會抓到一隻鹿，或一隻山羊，[6]但你不會知道。」但他是個充滿自信的獵人，全世界的晶片公司都是他的獵物。

即使擁有據估計20億美元的身家，趙偉國花在建立晶片帝國上的金額[7]依然令人咋舌。2013年，紫光開始在國內啟動收購狂潮，斥資數十億美元收購了中國最成功的兩家無晶圓廠的晶片設計公司：展訊通信公司（Spreadtrum Communications）與銳迪科微電子（RDA Microelectronics），這兩家公司是為智慧型手機設計低階晶片。趙偉國宣稱合併將會「在中國與海外產生巨大的綜效」，但近十年來，幾乎沒有證據顯示[8]任何綜效已經出現。

一年後的2014年，趙偉國[9]與英特爾達成一項協定，以英特爾的無線數據機晶片搭配紫光的智慧型手機處理器。英特爾希望這個組合可以帶動其在中國智慧型手機市場的銷售，而趙偉國則希望他的公司學習英特爾的晶片設計專業。他公開了

紫光的目標，指出半導體是[10]中國的「國家重點」。與英特爾合作將「加速技術發展，進一步強化中國半導體公司的競爭力與市場地位」。

趙偉國與英特爾的合作背後有一定的商業邏輯，但許多其他的決定似乎不是為了盈利。例如，紫光主動資助試圖打入NAND記憶體晶片市場的中國公司新芯（後來被長江儲存收購）。該公司的執行長在一次公開場合上坦承，他最初為了興建一座新晶圓廠而要求150億美元的資金，但後來被要求[11]接受240億美元，「理由是，如果他們真的想成為世界領導者，投資的規模就要與世界的領導者相當」。即使是在中國西部邊疆和趙偉國一起長大的牧羊人，應該也看得出來他是在亂開數十億美元的支票。後來有消息指出，紫光除了投資半導體外，[12]也投資房地產與線上博奕，這個消息曝光時，一點也不令人意外。

與此同時，中國政府所支持的「大基金」宣布向紫光投入首批資金[13]逾10億美元的計畫，這代表政府認可該公司的策略。於是，趙偉國把目光轉向海外，只擁有中國的無晶圓廠公司或吸引外國公司到中國投資是不夠的，他想掌控世界晶片業的制高點。他雇用了幾位[14]台灣半導體業的高管，包括台灣第二大代工企業聯華電子的前執行長。2015年，趙偉國親自造訪台灣，敦促台灣取消對中國在晶片設計與製造等領域的投資限制。他購買了組裝及測試半導體的台灣力成科技（Powertech Technology）的25%股份，這是台灣法規允許的交易。他也尋求入股台灣幾家大型的晶片組裝業者，或與它們[15]成立合資企業。

然而，趙偉國真正感興趣的是購買[16]台灣的重要企業：聯發科（美國以外的頂尖晶片設計公司）與台積電

（全球幾乎所有無廠房晶片公司都依賴的代工企業）。他提議購買台積電的25%股份，並主張合併聯發科與紫光的晶片設計事業。根據台灣現有的外商投資規定，這兩筆交易都不合法，但趙偉國從台灣返回中國後，在北京舉行的一場公開大會上建議中國，如果台灣不改變那些法令限制，就應該[17]禁止進口台灣的晶片。

這場施壓行動使台積電與聯發科承受了不小的壓力，這兩家公司都很依賴中國市場。台積電生產的大部分晶片，是在中國各地的廠房內裝進電子產品中。把台灣最重要的科技公司賣給一個有政府資助的中國投資者完全不合理，而且將導致台灣受制於中國。除了廢除台灣軍隊或歡迎中國人民解放軍占領台灣以外，很難想像還有什麼方式比這種交易更嚴重破壞台灣的自主權了。

台積電與聯發科都發表聲明，含糊地表達了對中國投資的開放態度。張忠謀表示，他唯一的準則是「只要價格合適，[18]而且對股東有利」——對一筆可能破壞台灣經濟獨立的交易來說，大家幾乎沒料到這樣的回應。但張忠謀也警告，如果中國的投資者能夠任命台灣公司的董事，「想保護智慧財產權[19]就不是那麼容易了」。聯發科表示支持「攜手提升中國與台灣企業[20]在全球晶片業的地位與競爭力」的努力，但前提是獲得台灣政府的許可。然而，台灣政府的立場似乎搖擺不定。台灣的經濟部長鄧振中建議放寬台灣對於中國投資晶片業所設下的限制。在中國的壓力下，他暗示，中國加強對台灣晶片業的控制是無可避免的。他告訴記者：「你[21]無法逃避這個議題。」不過，當時台灣面臨一場競爭激烈的總統選舉，政府延遲了任何政策調整。

不久，趙偉國把目光轉向美國的半導體業。2015年7月，紫光提議

以230億美元收購美國的記憶體
22
晶片廠商美光，那將是中國在任何產業中收購美國企業的最大購併案。與台灣科技巨擘及台灣的經濟技術官僚不同的是，紫光收購美光的提議遭到堅決的拒絕。美光表示，有鑑於
23
美國政府的安全考量，它認為那筆交易不切實際。不久之後，2015年9月，紫光再次嘗試，提議
24
以37億美元收購另一家生產NAND記憶體晶片的美國公司的15%股份。負責評估外國投資的美國政府機構CFIUS以安全為由，否決了那項提議。

接著，2016年的春季，紫光悄悄地收購了另一家美國晶片公司萊迪思半導體（Lattice Semiconductor）的6%股份。趙偉國接受《華爾街日報》採訪時表示：「這純粹是一項金融投資，我們完全
25
沒有想要收購萊迪思的意圖。」投資消息公布不到幾週，紫光就開始出售其
26
萊迪思的持股。此後不久，萊迪斯收到加州的投資公司凱橋（Canyon Bridge）的收購提案。路透社的記者揭露，
27
凱橋獲得中國政府的祕密資助。美國政府堅決反對該收購提案。

凱橋也同時收購了陷入財務困境的英國晶片設計公司
28
進想科技（Imagination）。那筆交易在精心安排下排除了進想科技的美國資產，以免交易
29
遭到美國政府的阻擋。英國監管機構批准了那筆交易，但三年後，當新東家試圖以中國政府投資基金所任命的官員來
30
重組董事會時，英國人就後悔當初的決定了。

問題不止在於那些與中國政府有關的基金正在收購外國的晶片公司。他們的做法根本違反了市場操縱與內線交易的法規。凱橋設法收購

萊迪思半導體時，該公司的一位共同創辦人向北京的一位同事透露了消息，並在微信及北京一家星巴克所舉行的會議上傳遞了交易細節。他的同事根據那些內線消息買了股票，凱橋的高管因此

31

被判內線交易罪。

趙偉國認為，他只是一個認真投入的企業家，他宣稱：「美國與中國的大公司合併，勢必會發生。大家應該從商業角度看待它們，而不是從民族主義或

32

政治脈絡來看待。」然而，紫光的活動根本無法從商業邏輯的角度來理解。有太多的中國國有公司與國家出資的「私募股權」公司繞著世界上的半導體公司打轉，說這不是政府主導收購外國的晶片公司，實在沒有人相信。習近平曾公開呼籲「把衝鋒號吹起來」。趙偉國、紫光，以及政府支持的其他「投資」機構只是在遵循那些公開的指示罷了。在連串的瘋狂交易中，2017年紫光宣布獲得了

33

新的「投資」：來自中國開發銀行約150億美元，以及來自集成電路產業投資基金的70億美元——兩者都是由中國政府擁有及掌控的。

46

華為的崛起

在華為總部接受媒體採訪的任正非，剪裁俐落的西裝與長褲、沒扣上的衣領、充滿活力的笑容，讓他看起來跟矽谷的高階主管沒什麼兩樣。某些方面來說，他確實是如此。華為的電信設備（基地台的無線電設備，可在智慧型手機之間傳輸電話、圖像、電郵）構成了全球行動網路的支柱。而且直到最近，華為的智慧型手機部門一直是全球最大的智慧型手機業者之一，在手機銷量上與蘋果及三星不相上下。此外，華為也提供其他類型的科技基礎設施，從海底光纜到雲端運算都有。在許多國家，使用手機一定會用到華為的設備，就好像使用個人電腦很難不碰到微軟產品，或在中國境外上網很難不碰到Google一樣。然而，華為與世界上其他的大型科技公司有一個主要的不同點：華為與美國的國安部門對抗了20年。

美國媒體報導了華為在中國政府的間諜活動中所扮演的角色。從那些報紙頭條很容易推論，華為是中國國安機構的附庸。華為與中國政府之間的關係[1]確實有據可查，但那些資料很少解釋華為究竟是如何打造出跨越全球的事業。為了瞭解這家公司的擴張，把華為的發展軌跡與另一家專注於科技的企業集團——韓國三星——拿來比較，可能更有幫助。任正非比三星的李秉喆晚一個世代，但這兩位企業大亨的經營模式很像。李秉喆從販售魚乾起家，靠著三大策略，把三星從一家魚乾貿易商，發展成量產全球最先進處理器與記憶體晶片的科技公司。第一，努力培養政治關係，獲得有利的法規與廉價資本。第二，找出西方與日本率先開發的產品，並學會以同等的品質及更低的成本來生產。第三，不斷追求全球化，不僅要尋找新客戶，也要與全球最好的公司競爭，藉此從中學習。執行這些策略使三星成為全球最大企業之一，營收相當於南韓總GDP的

10%。

中國公司也能執行類似的策略嗎？多數的中國科技公司嘗試的做法不同，沒那麼專注在全球上。雖然中國有強大的出口實力，但中國網路公司的獲利幾乎都來自國內市場，它們在國內受到監管與審查機制的保護。騰訊、阿里巴巴、拼多多、美團等公司如果不是因為稱霸了國內市場，就只是無足輕重的公司罷了。中國科技公司走出國門後，往往難以競爭。

相反的，華為從成立之初就積極面對海外競爭。任正非的商業模式與阿里巴巴或騰訊的商業模式有根本上的差異。他借鑒國外首創的概念，以較低的成本來生產優質的版本，然後銷往世界各地，從國際競爭對手的手中搶走國際市占率。這種商業模式使三星的創辦人致富，也讓三星在世界科技生態系統的中心站穩了腳跟。最近以前，華為似乎也是走在同樣的道路上。

華為自1987年創立，其國際導向的定位就顯而易見。任正非在中國南部的貴州省鄉下成長，家人都是高中教師。他入伍當兵以前曾在四川省會重慶受過工程訓練。他描述自己在當兵時是在一家生產[2]服裝合成纖維的工廠工作。離開軍隊後[*1]（有些懷疑者懷疑當時的情況，也懷疑他是否真的與軍方完全斷絕了關係），任正非搬到深圳，當時深圳只是一個與香港接壤的小鎮，香港仍由英國統治。在依然貧窮的中國南部沿海，香港有如一個繁榮的小前哨。中國領導人從大約十年前開始實施經濟改革，嘗試讓個人成立民營企業，刺激經濟成長。中國政府挑了幾個城市作為「經濟特區」，深圳就是其一。經濟特區裡取消了限制性法律，並鼓勵外國投資。隨著香港的資金大量流入深圳，以及中國內地有志經商的創業人士紛紛湧入深圳尋求不受監管的自由，深圳因此蓬勃發展了起來。

任正非看到了進口電信交換機的機會（電信交換機是連接通話者的設備）。他以5000美元的創業資金，開始從香港進口這種設備。當香港

的合作夥伴發現他靠轉賣那些設備獲利豐厚時，乾脆與他斷絕合作關係，改成自己銷售。於是任正非決定自己生產設備。到了1990年代初期，華為有幾百人從事研發工作，主要是專注於[3]製造交換設備。從那時起，電信基礎設施與數位基礎設施已經合併。傳輸電話的基地台也可以用來傳輸其他類型的資料。因此，華為的設備如今在全球的資料傳輸中扮演要色，甚至在許多國家扮演非常關鍵的角色。現在，華為與芬蘭的諾基亞及瑞典的愛立信（Ericsson）並列為全球三大基地台設備供應商。

華為的批評者常聲稱，華為的成功是靠竊取智慧財產權而來，但這只有部分屬實。華為坦承過去有過一些侵犯智慧財產權的行為，而且遭到的指控遠不止於此。例如，2003年華為承認公司的某款路由器中有2%的程式碼是直接抄自[4]美國競爭對手思科（Cisco）。同時，加拿大的報紙亦報導，加國的情報機構認為，加拿大的電信巨擘北電（Nortel）在2000年代曾遭中國政府支持的駭客與間諜活動的侵犯，[5]據傳華為因此受益。

竊取智慧財產權很可能為華為帶來了好處，但這無法完全解釋它的成功。竊取再多的智慧財產權或商業機密，都不足以打造出像華為那樣龐大的事業。華為開發出高效率的製程，降低了成本，並產出客戶認為優質的產品。與此同時，華為的研發支出也是世界上數一數二的，它在研發方面的投入是其他中國科技公司的好幾倍。華為的[6]年度研發預算約為150億美元，僅少數幾家公司能與之匹敵，包括Google、亞馬遜等科技公司，還有默克（Merck）等製藥公司，以及戴姆勒（Daimler）或福斯汽車（Volkswagen）等汽車製造商。即使考量到華為竊取智慧財產權的紀錄，該公司數十億美元的研發支出也顯示，華為與蘇聯的澤列諾格勒，或許多試圖靠廉價打入晶片業的中國公司所採取的「抄襲」策略是截然不同的。

華為的高層表示，他們之所以投資於研發，是從矽谷學來的。據報導，1997年時任正非帶著一群華為高階主管[7]到美國參訪，他們參觀了惠普、IBM、貝爾實驗室等公司。他們離開時，不僅認為研發很重要，也相信有效的管理流程也很重要。1999年起，華為聘請IBM的顧問部門來教他們如何像世界級的公司那樣營運。IBM的一名前顧問表示，1999年華為花了5000萬美元的顧問費，當時公司的總營收還不到10億美元。華為一度聘請了100名IBM的員工來改造商業流程。那位IBM的前顧問表示：「工程任務對華為來說並不難，但他們覺得自己在經濟知識與商業知識方面[8]落後了一百年。」拜IBM與其他的西方顧問所賜，華為學會了管理供應鏈，預測客戶需求，發展出一流的行銷，並把產品銷往全世界。

華為把這些成果與其推崇的軍國主義精神（所謂的「狼性文化」）結合在一起。據《紐約時報》報導，該公司的研究實驗室掛著一幅書法，上面寫著：「犧牲是軍人的最高付出。[9]勝利是軍人的最大奉獻。」不過在晶片業，任正非的軍國主義思想並不是那麼獨特。葛洛夫寫過一本暢銷書，談無時無刻戰戰兢兢的偏執力有什麼好處。張忠謀也說過，他曾研究二戰中最血腥的史達林格勒戰役（Stalingrad），[10]從中學習商業啟示。

除了西方的顧問公司，華為也獲得另一個強大體制的幫助，那就是中國政府。華為在發展的不同階段，分別獲得深圳的地方政府、國有銀行、中央政府的支持。《華爾街日報》統計了中國政府提供的補貼，[11]總額高達750億美元，形式包括補貼土地、國家擔保的信貸、稅賦減免等等，規模遠大於多數西方公司從祖國政府所獲得的補貼。華為獲得的好處，可能與其他東亞國家的政府扶持重點企業的方式沒多大的差別。

中國政府對這家看似民營企業的支持規模，引發了外界的警覺，尤其是美國。中國領導人確實一直很支持華為的全球擴張。甚至早在1990年代中期，華為的規模還小時，國務院副總理吳邦國等中國高官就

12

曾造訪該公司，並承諾給予支持。吳邦國還與任正非一起出國訪問，協助華為在非洲銷售電信設備。然而，考慮到中國對國際貿易的重商主義態度，以及公私財產之間的模糊界限，外界很難區分這究竟是政府對華為的特別支持，還是只是標準的運作程序。

任正非當初從中國人民解放軍退伍後創辦華為，這中間的轉移過程並不明朗，至今依然令人費解。華為的股權架構複雜又不透明，也引發了合理的質疑。華為的高階主管胡厚崑在接受美國國會的質詢時辯稱，任正非的中國共產黨黨員身份，就像「一些美國企業家是

13

民主黨或共和黨」一樣。對美國的分析人士來說，這種說法是故意混淆共產黨在公司治理中的角色。然而，外界一直找不到強而有力的證據，無法證實華為是中國政府特地打造出來的。

不過，華為的崛起符合中國政府的利益，因為華為搶了市占率，並把自家設備嵌入世界各地的電信網絡。多年來，即使美國的情報機構發出警訊，華為仍在世界各地迅速擴張。隨著華為的成長，銷售電信設備的老字號西方公司被迫合併或退出市場。例如，加拿大的北電破產了；阿爾卡特—朗訊公司（Alcatel-Lucent，承接AT&T貝爾實驗室的公司）把事業賣給了芬蘭的諾基亞。

華為在事業遍及全球後，野心只增不減。除了提供電話通訊的基礎設施，也開始銷售手機。不久，華為的智慧型手機已暢銷全球，2019年的手機銷量僅次於三星。華為每支手機的獲利仍遠低於三星或蘋果，蘋果的行銷與生態系統使它能夠收取高出許多的價格。然而，華為進軍智慧型手機市場並迅速搶得領先地位的能力，也引起了蘋果與三星的注意。

此外，華為在為自家手機設計一些關鍵晶片方面也有所進步。華為

的內部人士指出，2011年3月，日本東海岸發生地震，引發海嘯衝擊時，華為加快了晶片設計的雄心。當全世界把焦點放在遭到海嘯衝擊的福島第一核電站時，華為的高層則是擔心那場天災可能威脅到公司的供應鏈。華為和各大電子廠商一樣，自家電信設備與智慧型手機的關鍵元件都依賴日本供應商，所以華為擔心那場災難可能造成很大的供給延誤。最終，華為很幸運，他們的零組件供應商只有很少部分真正面臨長期停產。但華為還是請顧問來研判其供應鏈的風險。顧問的報告指出，華為有兩個關鍵弱點：一是使用Google的Android作業系統，這是非蘋果的智慧型手機都採用的核心軟體；二是每支智慧型手機都需要的半導體供應。

華為找出其產品所需的250種最重要的半導體，並開始[14]盡量改由內部設計。這些晶片主要是與建立電信基地台的事業有關，但也包括該公司智慧型手機的應用處理器（這些半導體極其複雜，需要最先進的晶片製造技術）。華為就像蘋果及多數頂尖的晶片公司，選擇把這些晶片的製造外包出去，因為晶片的製程頂多只有兩三家公司能夠提供，台灣的台積電是很自然的選擇。

到了2010年代末期，華為旗下的海思半導體（HiSilicon）已經為智慧型手機設計了一些世界上最複雜的晶片，並[15]成為台積電的第二大客戶。華為的手機仍需要其他公司的晶片，比如記憶體晶片或多種訊號處理器。但掌握手機處理器的生產，確實是一項令人刮目相看的成就。美國對全球獲利最好的晶片設計業，原本擁有近乎壟斷的地位，如今開始受到威脅。這更進一步證明，華為正成功地複製韓國三星或日本索尼幾十年前做過的事：學習生產先進技術，贏得全球市場，投資研發，挑戰美國的科技領先者。此外，隨著下一代電信基礎設施5G的推出，全球將進入運算隨處可見的新時代。華為似乎已經為了這個新時代，做了得天獨厚的準備。

*1 1983年，中國進行重大的軍隊改革，裁撤了50萬名工程兵。任正非經過深思熟慮後，選擇了

退伍。

47
5G未來

任正非開始從香港進口電話交換機時，線路設備只能讓電話通話。在電話發展的早期，交換是手工完成，一排排的婦女坐在一整牆的插塞（plug）前，根據通話者的不同，以不同的組合來拔插電話交換板上的電線，再把他們連接起來。到了1980年代，接線員已被電子開關取代，那些電子開關通常是使用半導體裝置。儘管如此，管理一棟大樓的電話線，仍需要一個[1]如衣櫃大小的開關設備。如今，電信業者比以往更依賴矽晶片，但現在一整櫃的設備可以處理電話、簡訊、影片的傳輸，而且通常是透過無線網路傳輸，而不是透過固網。

華為已掌握了透過無線網路傳輸電話與資料的最新一代設備，也就是5G。然而，5G的關鍵其實不是電話，而是攸關運算的未來，因此也攸關半導體。5G中的G是generation（代）的縮寫。我們已歷經四代的行動網路標準，每代標準都需要在手機與基地台安裝新的硬體。誠如摩爾定律讓我們在晶片上塞入更多的電晶體一樣，透過無線電波往返手機的1與0數量也穩定增加。2G手機可傳輸圖文，3G手機可打開網站，4G幾乎可以從任何地方串流影片，5G也可以提供類似的技術大躍進。

如今多數人覺得使用智慧型手機是再自然不過的事情，多虧了功能愈來愈強大的半導體，我們覺得手機上的圖文沒什麼大不了的，影片串流只要稍稍延遲，我們就會不耐煩。管理手機無線上網的數據機晶片，使手機天線可以透過無線電波，傳輸更多的1與0。

內建於行動網路與基地台的晶片也發生了類似的變化。透過空中傳輸1與0，又要盡量減少通話中斷或影片串流延遲，是極其複雜的流程。無線電波頻譜的可用空間有限。世界上的無線電波頻率就只有這麼多，

其中許多頻率並不適合用來發送大量資料或遠距傳輸。因此，電信公司依賴半導體，把愈來愈多的資料塞入現有的頻譜空間中。亞德諾公司（Analog Devices）專門生產管理無線電傳輸的半導體，該公司的晶片專家大衛．羅伯森（Dave Robertson）解釋：「頻譜遠比矽還昂貴。」因此，半導體一直是無線傳輸更多資料的基礎。高通等晶片設計公司找到了透過無線電頻譜優化資料傳輸的新方法，而亞德諾等晶片製造商則是製造了名為「無線射頻收發機」（radio frequency transceiver）的半導體，那種收發機可以更精準地收發無線電波，[2]而且更省電。

下一代的網路技術5G可以無線傳輸更多的資料，這有部分是透過更複雜的方法來共用頻譜空間。要做到這點，需要靠更複雜的演算法，手機與基地台也要有更強大的運算力，才能在無線頻譜的最小閒置空間中插入1與0。此外，5G網路將使用一種新的無線頻譜來發送更多的資料，以前大家認為使用那種頻譜不切實際。先進的半導體不僅可以在某個頻率的無線電波中塞入更多的1與0，也可以把無線電波傳得更遠，並以前所未有的精準度鎖定它們的傳輸。無線網路將辨識手機的位置，並使用波束成形（beamforming）的技術，直接向手機發送無線電波。典型的無線電波（例如傳到汽車收音機的音樂電波），是向四面八方發送訊號，因為它不知道你的汽車在哪裡。這種無線電波不僅浪費了電力，也產生更多的波與干擾。相反的，使用波束成形時，基地台可以辨識裝置的位置，只往該方向發送所需的訊號。結果是，對每個人來說，干擾更少，訊號更強。

能夠傳輸更多資料的更快網路，不止可以讓現有的手機運作得更快，還會改變我們看待行動運算的方式。在1G時代，手機太貴了，多數人買不起。到了2G時代，我們開始知道手機可以傳輸簡訊和語音。如今，我們認為手機與平板電腦應該擁有個人電腦的幾乎所有功能。當我們可以透過無線網路傳輸更多資料時，就會讓更多裝置連線上網。我們擁有的裝置愈多，它們產出的資料愈多，當然就需要更多的處理力來解讀那些資料。

可以讓更多裝置連線上網並從中獲取更多資料，這樣的前景聽起來可能沒有什麼革命性。你可能覺得，5G網路又不能泡出更好喝的咖啡，但不久的將來，你的咖啡機就會收集及處理它泡每杯咖啡的溫度與品質的相關資料。在商業與工業上，更多的資料與更多的裝置連線，將以多種方式帶來更好的服務與更低的成本，例如優化拖拉機在田間的行駛、協調裝配線上的機器人等等。醫療裝置與感測器將會追蹤及診斷更多的症狀。世界上可感測的資訊，遠比我們目前能夠數位化、傳輸、處理的還多。

伊隆．馬斯克（Elon Musk）的汽車公司特斯拉（Tesla）是說明連線力與運算力將如何把舊產品轉化為數位化機器的最佳案例。特斯拉的狂熱擁護者及飆升的股價吸引了大量的關注，但較少人注意到的是，特斯拉也是頂尖的晶片設計公司。該公司聘請吉姆．凱勒（Jim Keller）等知名的半導體設計師，專門為其自駕需求開發晶片，那些晶片是以頂尖的技術製造。早在2014年，一些分析師就指出，特斯拉的汽車[3]「類似智慧型手機」。大家常把特斯拉拿來與蘋果相比，蘋果也是自己設計半導體。就像蘋果的產品一樣，特斯拉精心微調的用戶體驗，以及看似毫不費力地把先進運算整合到汽車（20世紀的產品）中，這一切都是靠訂製的晶片才有可能辦到。1970年代以來，汽車就已經採用簡單的晶片了。然而，電動車需要專門的半導體來管理電源。電動車的普及，再加上自駕功能的需求增加，預示著一輛典型汽車內的晶片數量與晶片成本將大幅增加。

收發更多資料的能力，將會在處於網路「邊緣」的裝置上、在無線網路本身，以及在巨大的資料中心裡，創造出更多的運算力需求，汽車只是證明這點的最明顯例子而已。2017年左右，隨著世界各地的電信公司開始與設備供應商簽署建設5G網路的合約，中國的華為處於領先地位，提供業界認為高品質、[4]價格又有競爭力的設備。華為似乎可能在5G網路的建設中，扮演比其他公司更大的角色，超越僅剩的兩家無線基地台的主要供應商：愛立信與諾基亞。

與競爭對手一樣，華為在無線基地台的設備裡內建了大量的晶片。日本媒體《日經新聞》對華為的無線部門[5]做了一項研究，發現華為非常依賴美國製的晶片，例如萊迪思半導體公司的現場可程式化邏輯閘陣列（萊迪思就是幾年前紫光在俄勒岡收購的公司，後來紫光又出售了該公司的少數股權）。德儀、亞德諾、博通（Broadcom）、賽普拉斯（Cypress Semiconductor）也設計及製造了華為的無線設備所依賴的晶片。該研究顯示，美國的晶片與其他元件，占華為每個系統的近30%成本。不過，主處理器晶片是由華為旗下的海思半導體在國內設計的，並在台積電製造。華為尚未實現技術上的自給自足，它依靠多家外國晶片公司來生產專用半導體，也依靠台積電來製造其內部設計的晶片。然而，華為自己生產每個無線系統中一些最複雜的電子元件，也知道如何整合所有元件的細節。

隨著華為的設計部門證明自己有世界級的實力，不難想像，未來中國的晶片設計公司也會像矽谷巨擘一樣，成為台積電的重要客戶。如果以2010年代末期的趨勢來展望未來，到2030年，中國晶片業的影響力可能與矽谷匹敵。這不單只是顛覆科技公司與貿易流動而已，也會使軍力平衡重新洗牌。

48

下一個抵銷

從成群的無人機，到網路與電磁頻譜中的隱形戰，未來的戰爭將由運算力定義。美國軍方不再是所向無敵的領導者。美軍憑著精準導彈與全能感測器，長驅直入全球海域與領空的時代，早已一去不復返。據一家媒體報導，1991年波斯灣戰爭後，世界各國的國防部普遍感到震撼，也擔心消滅海珊軍隊的精準攻擊可能被用來對付世界上的任何軍隊。對中國政府來說，這種震撼與擔憂有如經歷了一場[1]「心理核戰」。此後的30年間，中國投入大量資金發展高科技武器，放棄了毛澤東時代發動低技術人民戰爭的教條，積極接納未來戰爭將依靠先進的感測器、通訊、運算技術的概念。如今，中國正在發展先進作戰部隊所需的運算基礎設施。

中國的目標不單只是在系統上與美國匹敵，更要發展出「抵銷」美國優勢的能力——這招是借鑒美國國防部1970年代的概念，並拿它來反制美國。中國已經部署了一系列可以系統化削弱美國優勢的武器。中國的精準反艦飛彈，使美國的水面艦艇在戰時行經台灣海峽變得極其危險，因此牽制了美國的海軍力量。中國新的防空系統，對美國在戰爭中控制領空的能力也構成了挑戰。中國的遠距攻陸飛彈，威脅著從日本到關島的美軍基地網絡。中國的反衛星武器，可能癱瘓通訊與GPS網路。中國的網路戰爭能力還沒經歷過戰爭的考驗，但中國會想辦法摧毀美國整個軍事系統。與此同時，在電磁頻譜上，中國可能會干擾美國的通訊及蒙蔽美國的監視系統，使美軍無法看到敵人，或無法與盟友通訊。

支持這一切能力的是中國軍方的一個信念：戰爭不僅變得「資訊化」，也變得「智慧化」（這個軍事術語不太貼切，它的意思是把AI應用在武器系統上）。當然，過去半個世紀以來，運算力一直是戰爭的核心，儘管可用來支持軍事系統的1與0數量已是幾十年前的數百萬倍。如

今面對的新情況是，美國現在面臨一個實力堅強的挑戰者。蘇聯在飛彈數量方面可與美國匹敵，但在位元組方面比不上美國。中國則認為自己在這兩方面都可以與美國較勁。中國半導體業的命運，不單只是商業問題而已。哪個國家能產出更多的1與0，就擁有更大的軍事優勢。

哪些因素將決定這場運算競賽呢？2021年，以Google前執行長艾力克．施密特（Eric　Schmidt）為首的一群美國科技與外交政策大老發布了一份報告，預測「中國可能超越美國，[2]成為全球AI超級大國」。中國領導人似乎也認同這個看法。誠如中國軍事專家卡尼亞所言，解放軍談論「AI武器」[3]已經至少10年了，這是指使用「AI來自動追蹤、辨識、摧毀敵方目標」的系統。習近平也曾敦促中國人民解放軍，「加快軍事智慧化的發展」，作為國防優先要務。

軍事AI的概念，容易讓人聯想到殺手機器人的形象。然而在許多領域裡，應用機器學習可以讓軍事系統變得更好。例如，預測性維護（瞭解機器何時需要維修）已經在幫助飛機持續在空中飛行，船艦繼續在海上航行。AI啟動的潛艇聲納或衛星圖像，可以更精確地辨識威脅。新的武器系統可以更快被設計出來。炸彈與飛彈可以更準確地瞄準目標，尤其是移動的目標。空中、水中、陸面的自動運載工具，已經在學習如何操縱、辨識對手並加以摧毀。上述一切不全然像「AI武器」這個詞所暗示的那麼有革命性。例如，幾十年前美國就已經有自主導引飛彈了。但隨著武器變得更有智慧、更自主，它們對運算力的需求只會增加。

在開發及部署AI系統的競賽中，中國不見得一定會贏，部分原因在於這場競賽不是只靠單一技術，而是攸關複雜系統。值得記住的是，冷戰時期的軍備競賽並不是由第一個把衛星發射到太空的國家獲勝的。然而，中國的AI實力無疑令人刮目相看。喬治城大學的班．布坎南（Ben Buchanan）指出，駕馭AI需要資料、演算法、運算力等[4]三大要件。運算力除外，中國的能力可能已經與美國相當。

在取得可輸入AI演算法的資料類型方面，中國與美國都沒有明顯的優勢。中國的支持者認為，中國的監視體制及龐大的人口，使其可以收集更多的資料，雖然收集中國民眾資料的能力可能在軍事領域沒有多大的幫助。例如，中國即使擁有再多上網購物習慣或中國13億公民臉部結構的資料，也無法訓練電腦辨識潛伏在台灣海峽的潛艇聲音。中國在收集有關軍事系統的資料方面，並

5

沒有任何的先天優勢。

在設計聰明的演算法方面，很難說中美哪一方有優勢。以AI專家的數量來看，中國的能力似乎與美國相當。馬可波羅（MacroPolo）是一個專門關注中國的智庫，其研究人員發現，全球頂尖的AI研究人員中，有29%來自中國，20%來自美國，18%來自歐洲。然而，這些專家中有驚人的比例最終留在美國工作，美國雇用了全球59%的

6

頂尖AI研究人員。新的簽證與旅行限制，再加上中國努力留住更多的研究人員，可能會抵銷美國從地緣政治對手奪走最聰明人才的技能。

至於布坎南所謂「三大要件」的第三部分：運算力，美國仍遙遙領先，雖然近年來這方面的優勢已明顯削弱。中國仍非常依賴外國的半導體技術（尤其是美國設計、台灣製造的處理器）來做複雜的運算。不止中國的智慧型手機與個人電腦依賴外國的晶片而已，中國大多數的資料中心也是如此，這也解釋了為什麼中國那麼努力地從IBM、AMD等公司取得技術。例如，一項中國的研究估計，在中國執行AI任務的伺服器上，有高達95%的GPU是

7

由輝達設計。英特爾、賽靈思、AMD和其他公司的晶片，在中國的資料中心裡也非常重要。即使採用最樂觀的預測，中國也需要5年的時間，才能設計出有競爭力的晶片及其周邊的軟體生態系統；至於在國內生產這些晶片，那又需要更長的時間了。

然而，對許多的中國軍事系統來說，取得美國設計、台灣製造的晶片並不難。喬治城大學的研究人員最近檢閱了343份可公開取得的AI相

關人民解放軍採購合約，發現其中僅不到20%的合約涉及[8]遭美國出口管制的公司。換句話說，中國軍方想購買先進的美國現成晶片，並把那些晶片嵌入軍事系統，並不是很難。喬治城大學的研究人員也發現，中國的軍備供應商甚至在他們的網站上宣傳自己使用美國的晶片。中國政府備受爭議的「軍民融合戰略」看來正在發揮效果（該戰略是把先進的民用技術應用在軍事系統上）。如果美國的出口限制沒有重大的改變，中國人民解放軍只要從矽谷採購，就能獲得需要的大部分運算力。

當然，中國的人民解放軍不是唯一試圖把先進運算力應用到武器系統的軍隊。隨著中國軍方的戰鬥力提升，美國的國防部意識到它需要新的戰略。2010年代中期，美國國防部長查克．海格（Chuck　Hagel）等官員開始談到需要一種新的「抵銷」策略（這讓人想起裴瑞、布朗、馬歇爾在1970年代為了克服蘇聯的數量優勢所做的努力）。如今美國面臨著同樣的基本困境：中國可部署的艦艇與戰機比美國多，尤其是像台灣海峽這樣重要的戰區。「我們永遠不會在坦克、飛機、人馬的數量上，與對手或競爭者較量。」前國防部的副部長鮑勃．沃克（Bob Work）如此宣稱，他是這項新抵銷戰略的發起者，很顯然呼應了1970年代末期的思維。換句話說，美軍只有在擁有決定性的技術優勢時[9]才會勝出。

這種技術優勢是什麼呢？沃克認為，1970年代的抵銷策略是由「數位微處理器、資訊科技、新型感測器、匿蹤技術」所推動，這次將由「先進的AI與自主性」推動。美軍已經部署了第一代的新型自駕器，例如海上無人機（Saildrone）。這是一種無人船，可在海上漫遊數月，同時追蹤潛艇或攔截對手的通訊。這些設備的成本只有一艘普通海軍艦艇的一小部分，所以軍方可以部署許多這樣的設備，並在世界各地的海洋上為感測器與通訊提供平台。自主水面艦艇、飛機、潛艇也正在研發與部署中。這些自主平台將需要AI來指引它們及做決策，它們內建的運算力愈強，做出的決定就愈聰明。

國防先進研究專案局（DARPA）所開發的技術，使1970年代的抵銷策略得以實現。如今DARPA正在將運算力運用在設計戰爭中使用的新系統。DARPA的領導者想像「分布在整個戰場空間的電腦（大至海軍艦艇，小至無人機），[10]能夠相互溝通及協調」。挑戰不在於只把運算力嵌入個別裝置中（如一枚導彈），而是把戰場上的數千個裝置都連接起來，讓它們共用資料，讓機器做更多的決策。例如，DARPA資助了[11]「人機協作」的研究專案，想像一架有人駕駛的戰鬥機與幾架自動駕駛的無人機一起飛行，這些無人機都為人類飛行員增添了另一組眼睛與耳朵。

就像那些在美國導彈的導引電腦中穿梭的電子決定了冷戰的勝敗一樣，未來的戰爭可能是由電磁頻譜決定的。世界各國的軍隊對電子感測器與通訊的依賴程度愈高，他們就愈需要爭奪發送訊息或偵查及追蹤對手所需的頻譜空間。目前我們對戰時電磁頻譜的運作，只有初步的瞭解。例如，俄羅斯在對烏克蘭的戰爭中，使用了多種雷達與訊號干擾器。據報導，俄羅斯政府也在普丁總統公務出差期間阻擋GPS訊號，那可能是[12]出於安全考量。DARPA正在研究不依賴GPS訊號或衛星的[13]替代導航系統，使美國飛彈在GPS系統癱瘓下依然能夠擊中目標。

爭奪電磁頻譜的競爭，將會是一場以半導體進行的無形戰。雷達、干擾、通訊都是由複雜的無線射頻晶片及數位類比轉換器（digital-analog converter）管理的，它們靠著調節訊號來善用開放的頻譜空間，向特定的方向發送訊號，並試圖混淆對手的感測器。與此同時，強大的數位晶片將在雷達或干擾器內執行複雜的演算法，評估收到的訊號，並在幾毫秒內決定發出哪些訊號。這都會影響軍隊的[14]偵查與通訊能力。如果自主無人機無法判斷它們在哪裡或正朝著哪個方向運行，它們就沒有多大的價值。

未來的戰爭將比以往更依賴晶片——執行AI演算法的強大處理器，處理資料的大型記憶體晶片，以及偵查與產生無線電波的完美調諧類比晶片。2017年，DARPA啟動一項名為「電子復興計畫」（Electronics Resurgence Initiative）的[15]新專案，要打造下一波與軍事有關的晶片技術。就某些方面來說，DARPA對晶片重新燃起的熱情，很自然地源於它的歷史。它曾經資助加州理工學院的米德等開創性的學者，也協助推動了晶片設計軟體、新微影成像技術、[16]電晶體結構的研究。

然而，DARPA與美國政府發現，要塑造晶片業的未來比以往更加困難。DARPA的預算是每年數十億美元，比晶片業多數大公司的研發預算還少。當然，DARPA在一些更新穎前衛的研究概念上花了更多錢，而英特爾、高通等公司則是把大部分的錢花在未來兩三年就能看到成果的專案上。不過，整體而言，美國政府購買的晶片占全球晶片的比例比以往小。1960年代初期快捷與德儀生產的積體電路，幾乎都是由美國政府購買。到了1970年代，美國政府購買的晶片比例已[17]降至10%到15%，如今更是只占美國晶片市場的2%。蘋果的執行長庫克身為晶片買家，他對晶片業的影響力比當今美國國防部的任何官員還大。

製造半導體的成本很高，所以連美國國防部也負擔不起內部製造的費用。美國國家安全局（National Security Agency）曾在其馬里蘭州米德堡（Fort Meade）的總部設有晶片製造廠。然而，2000年代，美國政府認為，按照摩爾定律持續升級的成本太高了。如今，連設計先進的晶片[18]（可能耗資數億美元），對多數的專案來說也太昂貴了（最重要的專案除外）。

美國軍方與政府的情報機構，都把晶片的生產外包給「信賴的代工

廠」。這種做法對多種類比或無線射頻晶片來說比較簡單，因為美國在這些晶片方面擁有世界級的能力。然而，在邏輯晶片方面，這就會出現一種兩難的局面。雖然英特爾主要是為自己的個人電腦與伺服器事業生產晶片，但該公司的生產力目前是落後領先水準。與此同時，台積電與三星把最先進的製造力留在台灣與南韓。而且，晶片組裝與封裝的很大一部分也是在亞洲進行。隨著美國國防部試圖使用更多現成的元件來降低成本，它將從國外購買更多的設備。

軍方擔心，國外製造或組裝的晶片比較容易遭到篡改，可能被添加後門或寫入錯誤。然而，即使是國內設計及生產的晶片，也可能出現意想不到的漏洞。2018年，研究人員發現，英特爾廣泛使用的微處理器架構中，有兩個根本的錯誤，[19]分別稱為Spectre和Meltdown。這兩個漏洞可讓人複製密碼之類的資料，這是很重大的安全漏洞。據《華爾街日報》報導，英特爾在通知美國政府以前，先向客戶（包括中國的科技公司）[20]披露了那些漏洞，這項舉動又導致國防部的官員更加擔心他們對晶片業的影響力愈來愈小。

DARPA正在投資一項技術，希望確保晶片不會遭到篡改，或驗證晶片完全按計畫製造。以前軍方可以依靠德儀等公司在國內設計、製造、組裝先進的類比與數位電子產品，但那樣的日子早已不復存在。如今根本無法避免從國外採購，而且很多東西是從台灣購買的。因此，DARPA只好押注在技術上，才能做到對微電子[21]採取「零信任」：也就是說，什麼都不信任，直接以技術來檢驗一切，例如在晶片上植入微小感測器，偵測晶片是否遭到修改。

然而，這些利用微電子技術來激發新的「抵銷」策略，以及重建美國對中國與俄羅斯的明確軍事優勢等做法，都是假設美國將維持它在晶片領域的領先地位。但現在看來，這是一個有風險的賭注。在實行「跑得更快」策略的時代，美國在晶片製程的某些環節已經落後，最明顯的是在製造先進邏輯晶片方面日益依賴台灣。30年來，英特爾一直是美國

晶片業的龍頭，但現在顯然已經大不如前。許多業界人士認為，英特爾已經明顯落後了。與此同時，中國正向晶片業投入數十億美元，同時逼外國公司交出敏感技術。對每家大型晶片公司來說，中國的消費市場是遠比美國政府還要重要的客戶。

中國為了取得先進技術所投注的心血、中美電子業之間的緊密關連、以及中美兩國對台灣製造的共同依賴，都令人擔憂。美國的發展已經變慢了，而且它現在把軍力的未來押注在一項其主導地位[22]正逐漸下滑的技術上。美國國防部負責這個議題的官員麥特．特賓（Matt Turpin）認為：「如果中國與我們坐在同一輛車上，想用抵銷策略來領先中國[23]是幾乎不可能的。」

習近平公開呼籲「把衝鋒號吹起來」。中國領導人已經把中國對外國晶片製造商的依賴，視為一個關鍵弱點。他們制定了計畫，藉由收購外國的晶片製造商、竊取他們的技術，以及向中國的晶片公司提供數十億美元的補助，來重塑全球的晶片業。中國人民解放軍現在指望這些努力可以幫他們規避美國的限制，儘管它在追求「軍事智慧化」的過程中仍可以合法買到許多美國晶片。在承認中國的軍事現代化縮小了中美的軍力差距後，美國的國防部推出新的抵銷行動，尤其是在中國沿海有爭議的海域上。台灣不單只是生產中美兩國軍方都押注的先進晶片，也是最有可能成為未來戰場的地方。

第八部

晶片鎖喉

49

「我們競爭的一切」

英特爾的執行長科再奇對於中國努力在全球晶片業搶占更大的市占率，感到很擔憂。2015年，科再奇身為美國半導體協會主席，負責與美國政府官員密切接觸，通常這代表向政府要求減稅或減少監管。但這次話題不同了，他要說服美國政府針對中國大規模的半導體補貼，採取行動。美國的晶片公司都陷入了同樣的困境：對幾乎所有的美國半導體公司來說，中國都是一個非常重要的市場，他們不是直接向中國客戶銷售，就是自家晶片是在中國組裝到智慧型手機或電腦中。中國政府的強硬手段，迫使美國晶片公司對中國的補貼保持沉默，儘管中國政府已採取正式的政策，試圖把它們排除在中國的供應鏈之外。

歐巴馬政府的官員已經很習慣聽到鋼鐵或太陽能板等產業抱怨中國。高科技理當是美國的專長，是美國有競爭優勢的領域。因此，當資深政府官員會見科再奇、[1]看到「他眼中明顯的恐懼」時，他們也開始擔心了。當然，英特爾的執行長長期以來都是戰戰兢兢的偏執狂，但現在這家公司及整個美國晶片業比以往有更多的理由感到擔憂。中國已經把美國的太陽能板製造業擠出市場，難道它不會在半導體業也做出同樣的事情嗎？歐巴馬政府的一名官員擔心：「這個規模高達2500億元的大基金會[2]把我們都埋了。」他指的是中國中央與地方政府承諾為本土晶片廠商提供的補貼。

到了2015年左右，美國政府內部的形勢開始慢慢轉變。政府的貿易談判代表認為，中國的晶片補貼是公然違反國際協議。美國國防部緊張地看著中國想盡辦法把運算力應用在新的武器系統上。情報機構與司法部發現了更多的證據，證明中國政府與產業勾結，一起排擠美國的晶片公司。然而，「擁抱全球化」與「跑得更快」這兩大美國科技政策支柱，已經根深柢固。這不僅是產業遊說造成的，也是華府的思維共識。此外，華府的多數人幾乎不懂半導體是什麼。據一位相關人士回憶，歐巴馬政府在半導體議題方面進展緩慢，因為許多高官根本[3]不認為晶片是重要的問題。

因此，歐巴馬政府直到任期接近尾聲才開始採取行動。2016年底，總統大選的前六天，商務部長潘妮．普利茨克（Penny Pritzker）在華盛頓針對半導體發表了一場[4]備受矚目的演講，宣稱「半導體技術必須持續成為美國創造力的核心特色，以及經濟成長的動力，我們絕對不能失去這方面的領導地位」。她把中國列為核心挑戰，譴責「不公平的貿易做法，以及大規模、非市場的國家干預」，並指出「中國收購公司與技術的新意圖，是基於政府利益，而非商業目標」，這番指控源自紫光的收購狂潮。

然而，歐巴馬政府的任期所剩無幾，普利茨克也無法真正做什麼。歐巴馬政府當時的目標只是啟動討論，並期待即將上任的希拉蕊政府可以繼續推動討論。普利茨克也下令商務部研究半導體供應鏈，並承諾「利用一切機會向中國的領導人表明，我們絕不容許你們那套意圖侵佔這個產業的1500億美元產業政策」。但譴責中國的補貼很容易，要讓他們住手就困難多了。

約莫同一時間，白宮委託一批半導體的高階主管與學者研究該產業的未來。他們在歐巴馬卸任的前幾天[5]發布了一份報告，敦促美國加倍投入既有的策略，那份報告主要的建議是：「要贏得競賽，就要跑得更快」——簡直就像從1990年代複製貼上的。持續創新顯然很重要，延續摩爾定律是競爭的必備要件。但在美方

自以為「跑得更快」的幾十年裡，對手已經擴大了市占率，而全世界已經變得極其依賴少數幾個脆弱的鎖喉點，尤其是台灣。

在華府與晶片業，幾乎所有人都對全球化津津樂道。報紙與學者都表示，全球化本來就是「全球性的」，技術擴散勢不可擋；其他國家的技術能力進步，也很符合美國的利益；即使不是如此，也沒有什麼東西能阻止技術進步。歐巴馬政府的半導體報告宣稱「在一個半導體產業日趨全球化的世界，單邊行動愈來愈無效。」、「原則上，政策可以減緩技術的傳播，但無法阻止技術的擴散。」這兩種說法都沒有證據加以佐證，大家就直接信以為真。不過，晶片製造的「全球化」並沒有發生，而是「台灣化」了。技術並未傳播，而是被少數幾家無可取代的公司壟斷。美國的科技政策被很容易就能識破的全球化陳腔濫調綁架了。

美國在製造、微影成像及其他領域的技術領先地位已經消失，因為美國政府說服自己相信，企業應該競爭，政府的角色應該是提供一個公平的競爭環境。如果每個國家都認同這種思維，自由放任制確實是有效的。但許多國家的政府，尤其是亞洲國家的政府，都大力支持本國晶片業。美國官員覺得忽視其他國家搶占晶片業市場的努力比較容易，他們選擇一再老調重談自由貿易與開放競爭。與此同時，美國的地位正遭到侵蝕。

在華府與矽谷的上流社會裡，反覆提起多邊主義、全球化、創新等字眼比較容易，這些概念太過空洞，不會冒犯到任何掌權者。晶片業本身深怕觸怒中國或台積電，所以投入大量的遊說資源，一再重申該產業已變得多麼「全球化」之類的陳腔濫調。這些虛假概念很自然地呼應了美國單極時期引導兩黨官員的自由國際主義精神。當每個人都假裝合作可創造雙贏時，與外國公司及政府的會談也變得更加愉快。所以美國政府一直告訴自己，美國正在跑得更快，盲目地忽略了美國地位的惡化，中國能力的強化，以及對台灣與南韓一年比一年更明顯的驚人依賴。

不過，在美國政府內部，國安單位開始採取不同的觀點。這些政府部門本來就需要隨時抱著危機意識，所以這些國安官員對中國的科技業抱持懷疑的態度，也比較冷酷地看待中國政府。許多官員擔心，中國對

全球關鍵技術系統的影響力愈來愈大。他們也推測，中國將利用其全球主要電子品製造者的地位，暗中插入後門，以便更有效地從事間諜活動，就像美國幾十年來所做的那樣。設計未來武器的國防部官員開始意識到他們對半導體的依賴程度。與此同時，專注於電信基礎設施的官員則是擔心，美國的盟友正縮減他們從歐洲與美國購買的電信設備，增加從中興通訊（ZTE）、華為等中國公司採購的設備。

有傳聞指出，華為與中國政府有關連。多年來，美國的情報機構對此傳聞深表擔憂，但直到2010年代中期，華為及其規模較小的同業中興才開始引起大眾的關注。這兩家公司出售相互競爭的電信設備，中興是國有企業，華為是民營企業，但美國官員聲稱華為與中國政府關係密切。過去幾十年來，這兩家公司一再遭到指控，說他們涉嫌靠賄賂許多國家的官員獲得合約，但兩家公司都[6]一概否認。2016年，歐巴馬執政的最後一年，這兩家公司都被指控違反美國禁令，[7]向伊朗與北韓供應產品。

歐巴馬政府曾考慮對中興實施財務制裁，那將切斷該公司接觸國際銀行體系的管道，但後來選擇在2016年[8]以另一種方式懲罰中興：限制美國公司向中興銷售產品。這種出口管制以前主要是用來打擊軍事目標，例如阻止技術轉移給那些為伊朗飛彈計畫提供元件的公司。但商務部也有禁止民用技術出口的廣泛權力。中興的系統非常依賴美國的元件，尤其是美國的晶片。不過，2017年3月，就在那項限制即將實施之前，中興與美國政府簽署了一份認罪協議，並支付罰款，因此出口限制[9]在生效以前就取消了。幾乎沒有人真正理解禁止一家大型中國科技公司購買美國晶片，會是多麼激烈的行動。

中興的認罪協定是在川普政府剛上任時簽署的。川普多次抨擊中國[10]「剽竊我們」，但他對政策的細節沒多大的興趣，對技術更是不感興

趣。他關注的焦點是貿易與關稅。彼得．納瓦羅（Peter Navarro）、勞勃．萊特海澤（Robert Lighthizer）等川普手下的官員，試圖減少中美雙邊的貿易逆差及減緩產業外移，但大多失敗了。不過，在遠離政治鎂光燈的國家安全會議（National Security Council，簡稱NSC）中，以博明（Matt Pottinger）為首的少數幾位謹慎的官員正在改變美國對中國的政策，並在過程中淘汰過去幾十年的技術政策。博明曾是記者與陸戰隊員，後來成為川普的副國安顧問。美國國家安全會議的對華鷹派不是關注關稅，而是關注中國的地緣政治目的與技術基礎。他們認為美國的地位已被削弱，岌岌可危，而華盛頓當局的毫無作為是罪魁禍首。川普任命的一名官員指出，在總統交接期間，歐巴馬的一名官員在談及中國的技術進步時，對他說：「這真的很重要，[11]但你也無能為力。」

不過，新上任政府的中國團隊並不認同這個說法。誠如一位資深官員所言，他們的結論是：「二十一世紀我們競爭的一切……全建立在掌握半導體技術[12]這塊基石上。」他們認為，毫無作為是不可行的選項，「跑得更快」也不可行，他們認為那也形同毫無作為。一位國家安全會議的官員表示，「對我們來說，跑得更快雖好」，但這個策略無效，因為中國「在脅迫技術轉移方面，有極大的影響力」。新的國家安全會議在技術政策方面採取更有戰鬥力的零和態度。從財政部投資篩選部門的官員，到國防部軍事系統供應鏈的管理人員，政府的關鍵部門開始把焦點放在半導體上，[13]作為因應中國策略的一部分。

這些變化使半導體業的領導者深感不安。他們想獲得政府的協助，卻又擔心中國報復。晶片業很樂於接受政府減稅或放寬監管，這兩種措施都會讓美國的商業環境更有吸引力，但晶片業並不想被迫改變其跨國商業模式。此外，矽谷有很多人討厭川普，這也對這個議題毫無幫助。川普成為總統候選人時，英特爾執行長科再奇答應為川普舉辦一場募款

活動後，就
14
引發強烈的反彈。後來，科再奇加入白宮召集的一個顧問委員會後就辭去英特爾執行長一職。即使產業高管忽略川普的國內政策，川普的反覆無常也使他成為一個問題重重的盟友。在推特上發文宣布課徵關稅，向來不是執行長樂見的手法。

然而，相較於川普政府傳出自相矛盾的訊息，來自晶片業的資訊也好不到哪裡去。半導體公司的執行長與他們聘請的遊說者公開呼籲新政府與中國合作，並鼓勵中國遵守貿易協定。但私底下，他們也承認這招行不通，並擔心有國家支持的中國競爭對手不惜一切代價奪取市占率。整個晶片業都依賴對中國的銷售，無論是英特爾這樣的晶片製造商，還是高通這樣的無廠房設計公司，或是應用材料公司這樣的設備製造商。美國半導體公司的一位高層告訴一位白宮官員一個諷刺的結論：「我們的根本問題在於，我們的
15
頭號客戶就是我們的頭號競爭對手。」

美國國家安全會議中的對華鷹派認為，美國的半導體業需要斷腕自救。晶片公司要是再繼續任由股東與市場力量的擺布，將會慢慢把員工、技術、智慧財產權轉移給中國，直到矽谷被掏空。對華鷹派認為，美國需要一個更強而有力的出口控管機制。他們覺得華府當局有關出口控制的討論，已經被業界劫持，而這讓中國公司獲得了太多先進的晶片設計與機台。政府官員提到，商務部與那些為晶片業效勞、遊說反對出口管制的律師事務所之間有旋轉門的問題，但這些官員也是政府之中少數瞭解半導體供應鏈有多複雜的人。川普政府的官員認為，旋轉門問題使監管單位允許太多的技術洩漏，因此削弱了美國
16
相對於中國的地位。

川普總統的推特發文砲火連連，使多數人幾乎沒注意到，政府部門（從國會到商務部，從白宮到國防部）正在以1980年代末以來華府內部前所未見的方式，重新關注半導體。媒體把焦點放在川普與中國的「貿易戰」，以及他為了吸引最大媒體關注而精心宣布的關稅上。在川普徵

收關稅的許多產品中，晶片也在其列，這導致一些分析人士認為半導體主要是一個

17

貿易問題。不過，政府的國安機構認為，總統徵收關稅及掀起的貿易戰，其實分散了大家對當時正在進行的高風險技術競爭的關注。

2018年4月，隨著川普與中國的貿易爭論升溫，美國政府認為，中興向美國官員提供了虛假的資訊，因此

18

違反了認罪協議的條款。據一名助手透露，川普的商務部長威爾伯．羅斯（Wilbur Ross）對這件事「非常在意」，因為一年前他參與了美方與中興的談判。商務部開始重新要求美國公司不准出售商品給中興。一名與會者表示，這個決定在官僚機構中

19

「幾乎無人知曉」。當那些規定突然恢復時，中興再次被切斷了購買美國半導體等產品的能力。如果美國不改變政策，中興將走向倒閉。

然而，川普本人對貿易比對技術更有興趣。他認為，扼殺中興只是對付習近平的籌碼。因此，當中國領導人提議協商時，川普急切地接受了提議。他在推特上發文表示，他會想辦法讓中興繼續營運，因為他擔心

20

「中國會失去太多工作機會」。不久，中興就同意支付另一筆罰款，換取再次獲得美商供貨的機會。川普認為他在貿易戰中獲得了籌碼，但事實證明這只是幻覺。華盛頓的對華鷹派認為，川普被財政部長史蒂芬．梅努欽（Steven Mnuchin）等官員騙了，梅努欽一再鼓吹川普對中國讓步。中興事件充分顯示，全球各大科技公司對美國晶片的依賴程度有多大。誠如一位政府官員所言，半導體不單只是「我們所競爭的一切」的「基石」，也是極其強大的毀滅性武器。

50
福建晉華

王永銘從美光的網路下載機密檔案後，在Google上搜尋[1]「清除電腦資料」，尋找可以掩蓋蹤跡的程式。對搜尋結果不滿意，他又換關鍵字「清除電腦使用記錄」，再次搜尋。最終，他找到CCleaner程式並執行，顯然是想從公司提供的惠普筆電上清除檔案。但這樣做並未阻止調查人員發現他從雇主美光那裡下載了900個檔案，並把檔案存入隨身碟，且上傳到Google　雲端。這些檔案上都有「美光機密／勿複製」的標籤。王永銘不止複製檔案，他的計畫是複製美光先進DRAM晶片的機密製程，下載美光晶片電路的詳細檔案、美光為微影製程製作光罩的細節，以及測試與良率的詳細資訊——據美光估計，複製這些機密需要數年的時間與數億美元。

目前，有三家公司主導全球的DRAM晶片市場：美光及兩家韓國的對手三星與SK海力士（SK　Hynix）。1990年代與2000年代，台灣企業花了數十億美元試圖打入DRAM產業，但從未獲利。DRAM市場需要規模經濟，因此小廠商的售價很難有競爭力。台灣從未成功打造出持久的記憶體晶片業，但日韓兩國在1970與1980年代就是以DRAM晶片進入晶片業的。DRAM需要專門的技術、先進的設備、大量的資本投資。先進的設備通常可以從美國、日本、荷蘭的大型設備製造商採購現成的機台。技術是最難的部分。1980年代末期三星進入這個產業時，是從美光取得技術授權，在矽谷開設研發中心，並雇用數十位美國培養的博士人才。另一種更快取得技術的方法，是挖走員工及竊取檔案。

中國福建省與台灣隔著海峽相望，福建的廈門港外，就坐落著台灣控制的金門島。在冷戰最緊繃的時期，毛澤東的軍隊曾多次砲轟金門。台灣與福建省關係密切，但不是一直都很和睦。然而，福建省政府決定成立DRAM晶片製造商晉華並提供

2

逾50億美元的政府資金時，晉華認為與台灣合作是成功的最佳途徑。台灣並沒有任何領先的記憶體晶片公司，但確實有DRAM設施，美光在2013年收購了那些設施。

美光並不打算協助晉華，它認為晉華是危險的競爭對手。萬一晉華學會DRAM技術，它獲得的巨額政府補貼將提供很大的競爭優勢，讓它在DRAM市場傾售廉價晶片，壓縮美光、三星、SK海力士的利潤。三大DRAM公司花了幾十年的時間，投資超專業的技術流程，那不僅創造出全球最先進的記憶體晶片，也持續精進技術及降低成本。他們的專業知識受到專利保護，但比專利更重要的是只有他們的工程師才擁有的技術。

為了競爭，晉華不擇手段取得了這種製造技術。晶片業竊取對手技術的歷史由來已久，可遠溯及1980年代有關日本竊取智慧財產權的連串指控。然而，晉華取得技術的方式比較接近蘇聯KGB的技術局。首先，晉華與製造邏輯晶片（不是記憶體晶片）的台灣聯電達成協議，聯電同意提供生產DRAM的專業技術，換取

3

約7億美元的報酬。授權合約在半導體業很常見，但這項協議有一個不太尋常的轉折。聯電承諾提供DRAM技術，

4

但聯電又不產DRAM。因此，2015年9月，聯電從美光的台灣分公司雇用了幾名員工，首先是挖角總經理陳正坤，他負責開發聯電的DRAM技術，並管理聯電與晉華的關係。次月，聯電從美光的台灣分公司雇用了製程經理何建廷。在隨後那一年之間，何建廷從美光的前同事王永銘那裡收到了一系列的檔案。王永銘當時還在美光的台灣分公司任職。最終，王永銘也離開美光，帶著上傳至Google雲端的900個檔案

5

加入聯電。

台灣檢方接獲美光的通報，

6

開始竊聽王永銘的電話、收集證據。他們很快就收集到足夠的證據，並

對聯電提告。當時聯電已經為一些從美光竊取的技術申請了專利。當美光控告聯電與晉華侵犯其專利時，聯電與晉華在福建省反告美光。福建的法院裁定，美光侵犯了聯電與晉華的專利——但那些專利是使用從美光竊取的內容申請的。為了「補救」這種情況，福州中級人民法院禁止美光[7]在中國銷售26種產品（中國是美光最大的市場）。

長期以來，在中國營運的外國公司一直抱怨，當地有政府支持的智慧財產權竊盜行為，上述的美光情境就是一個完美的案例。當然，台灣人自然明白中國人為什麼不願遵守智慧財產權規範。1960年代德儀首次抵台時，李國鼎部長曾嘲諷道：「智慧財產權是帝國主義用來[8]欺負落後國家的東西。」但台灣後來認為尊重智慧財產權的規範比較有利，尤其是在台灣企業開始開發自己的技術、有自己的專利需要捍衛的情況下。許多智慧財產權專家預測，隨著中國企業生產更複雜的產品，中國很快就會開始減少竊取智慧財產權。然而從目前看來，支持與推翻這個論點的證據各半。歐巴馬政府曾努力與中國的情報機構達成協議，中國的情報機構同意停止向中國公司提供竊取的機密。但這番努力只持續了一段時間，後來美國人就忘了這個問題，竊取機密的活動又[9]迅速死灰復燃。

美光沒有理由預期在中國獲得公平的審判。如果福建那種不公平的審判可能阻止美光銷貨到最大的市場，那美光即使在台灣或加州的法庭獲得勝訴也沒什麼意義。約莫同一時間，美國的半導體設備商威科儀器（Veeco）在美國的法院，對中國的競爭對手中微（AMEC）提出智慧財產權的訴訟，中微也在福建的法院反告威科儀器。紐約的法官發布了對威科儀器有利的初步禁令，福建法院也發布初步禁令予以還擊，禁止威科儀器出口機器到中國。柏克萊大學的教授科恩．馬克（Mark Cohen）是中國法律的專家，他的研究顯示，在中國的專利案件中，出現這種結果的機率僅0.01％。美國法院的案件往往耗時數月，而福建法院在9個工作日內就做出判決，[10]

判決本身仍是祕密。

美光似乎注定面臨類似的命運。晉華擁有美光的機密，所以一些分析人士認為，晉華量產DRAM晶片只需要幾年的時間，到時候即使美光獲准重返中國市場也沒用了，因為晉華將使用美光的技術生產晶片，並以補貼的價格銷售。如果這件事是發生在歐巴馬執政時期，這個案子只會引發措辭強烈的聲明，幾乎不會有其他的結果。美國的執行長都知道，他們無法指望獲得美國政府的大力支持，他們會試圖與中國達成協議，放棄智慧財產權，以期重新進入中國市場。晉華知道，美光頂多只會發新聞稿表達不滿，他們只要盡量壓榨美光就對了。其他的外國公司即使知道自己可能是下一個受害者，也只能保持沉默。

美國國家安全會議中的對華鷹派決心改變這種動態。他們認為美光案就是川普承諾解決的那種不公平交易，儘管總統本人對美光並沒有特別的興趣。一些政府官員主張[11]對晉華實施財務制裁，使用歐巴馬總統2015年簽署的一項網路間諜活動的行政命令中所規定的權力，雖然那項命令從未用來對付大型的中國公司。川普政府經過深思熟慮後，決定採用之前用來對付中興的相同工具，理由是以貿易規定來解決貿易爭端比較合理。於是，美國禁止晉華購買製造晶片的美國設備。

應用材料、科林研發、科磊等美國公司是一小群寡頭公司，他們專門生產無法取代的機台，例如在矽晶圓上沉積薄層材料或辨識奈米級缺陷的設備。沒有這種機台（大部分仍在美國製造），就不可能產出先進的半導體。目前，世界上只有日本還有幾家公司也生產類似的機台，所以只要日本與美國政府達成協議，他們可以讓任何國家的任何公司無法製造出先進的晶片。川普政府與日本經濟產業省的官員詳細磋商後，確定日方也支持對晉華採取強硬措施，而且會確保日本公司[12]不會損害美國對晉華的限制。這給了美國一個強大的新法寶，它可以讓世界上任何地方的任何晶片製造商倒閉。川普政府裡的一些鴿派人士對

此感到很緊張，例如財政部長梅努欽。不過，有助理指出，有權實施出口管制的商務部長羅斯認為：「[13]我們幹嘛不這樣做？」因此，就在晉華向晶片製造設備的美國供應商付款後，美國禁止了那些產品的出口。幾個月後，晉華的生產就[14]陷入停頓，中國最先進的DRAM公司就此被摧毀了。

51

對華為的攻擊

「我說這是在搞間諜活動，」電視節目《福克斯與朋友》（*Fox & Friends*）的主持人向總統問及華為時，川普在這個他最喜歡的節目上回應道：「我們不想讓他們的設備進美國，因為他們在監視我們……[1]他們什麼都知道。」科技基礎設施可用來竊取機密資訊，這不算新鮮事。2013年，美國國安局的前職員史諾登叛逃到俄羅斯，同時洩露國安局的許多最高機密後，世界各地的報紙就經常報導美國的網路偵查力。看似機密的美國政府資料屢次外洩之後，中國駭取機密資料的高超能力也因此廣為人知。

雖然美國官員幾乎都不懷疑華為有輔助中國的間諜活動，但在美國國防部與國家安全會議的眼中，華為帶來的問題比較不是間諜活動上的挑戰，而是長期爭奪技術主導地位的第一戰。參與美國軍方新抵銷戰略的國防部官員麥特．特賓認為，華為反映了美國科技業一個更大的問題：中國的公司用美國的軟體設計晶片，用美國的機台生產晶片，也常把晶片嵌入他們為美國消費者製造的裝置中，所以中國公司「其實與美國一起在系統內」。有鑑於此，「美國不可能『在創新方面超越』中國，同時又阻止中國[2]享用創新的成果」。華為與其他中國公司在科技上的某些子領域扮演要角，但美國認為它必須主導那些子領域，才能在軍事與戰略上維持對中國的技術優勢。川普底下的另一名高官表示：「華為代表了我們與中國技術競爭時所犯下的[3]一切錯誤。」

不只川普政府或美國擔心華為而已。澳洲的安全部門也認為，即使華為交出讀取其所有軟體原始碼與硬體的權限，也不可能削減外國使用

其設備的風險，因此禁止華為參與澳洲的5G網路建設。澳洲總理麥肯．滕博爾（Malcolm Turnbull）原本對此全面禁令抱持懷疑。澳洲記者彼得．哈徹（Peter Hartcher）報導，滕博爾自己買了一本474頁的《5G安全綜合指南》（*A Comprehensive Guide to 5G Security*）來研究該議題，希望向他的技術專家提出

4

更好的問題。最後他確信他別無選擇，只能全面禁止華為。澳洲成為第一個正式把華為設備排除在5G網路之外的國家，日本、紐西蘭與其他國家很快也跟進做出同樣的決定。

不是每個國家都做出相同的負面評估。中國的許多鄰國對華為抱持懷疑，不願拿網路安全來冒險。相較之下，美國的幾個傳統歐洲盟友則是審慎看待川普政府想要說服他們禁止華為的行動。美國有些東歐盟友也公開禁止華為，例如波蘭。2019年波蘭以間諜罪名逮捕該國一名

5

前公司高管。法國也

6

悄悄實施了嚴格的限制，其他的歐洲大國則是試圖尋找中間立場。德國每年對中國出口大量的汽車與機器，中國駐德大使警告德國，德國要是禁止華為

7

可能面對的「後果」，他揚言：「中國政府不會袖手旁觀。」

最終，川普政府預計德國應該不會答應一起禁止華為，他們認為德國在許多問題方面都只想搭便車，坐享其成。比較令人訝異的是英國的反應，儘管英美有著「特殊關係」，但是英國並沒有答應美國的要求，禁止華為進入英國的5G網路，而是改向愛立信或諾基亞等替代供應商採購設備。2019年，英國政府的國家網路安全中心（National Cyber Security Centre）做出結論：即使不實施禁令，也可以管理華為系統的風險。

為什麼澳洲與英國的網路安全專家對華為的風險做出不同的評估？沒有證據顯示雙方在技術上有歧見。例如，英國的監管機構非常在意華為

8

在網路安全運作上的缺陷。爭論的焦點在於，是否應該阻止中國在全球科技基礎設施中扮演愈來愈重要的角色。英國訊號情報機構（signals intelligence agency）的前負責人羅伯．漢尼根（Robert Hannigan）認為，「我們應該接受中國未來將成為全球科技強國的事實，現在就開始管理風險，而不是假裝西方可以對中國的技術崛起

9

袖手旁觀。」許多歐洲人也認為中國的技術進步是無可避免的，不值得費心去阻止。

但美國政府不認同這種看法。華為的問題不單只是該公司是否協助竊聽手機或竊取資料而已。華為的高層承認他們違反

10

美國對伊朗的制裁，那激怒了華府的許多人，但最終只是一小段插曲罷了。真正的問題在於，中國有一家公司已經爬上了技術階梯，從1980年代末期只做簡單的電話交換機，到2010年代末期生產最先進的電信與網路設備。而且它的年度研發開支如今媲美微軟、Google、英特爾等美國科技巨擘。在中國的所有科技公司中，華為是最成功的出口商，這讓它對海外市場有詳細的瞭解。它不僅為基地台生產硬體，也設計先進的智慧型手機晶片。它已經變成台積電的第二大客戶，僅次於蘋果。現在面臨的一個迫切問題是：美國能讓這樣的中國公司繼續蓬勃發展下去嗎？

這種問題使華府的許多人感到不安。過去一整個世代，美國的精英階層很樂見、也促成了中國的經濟崛起。美國還促進了亞洲各地科技公司的發展，例如，在日本快速成長的那幾年，美國為索尼等日本公司提供了市場；並在幾十年後，為韓國的三星提供了同樣的待遇。華為的商業模式，與索尼或三星首次在世界科技的生態系統中獲得重要地位的商業模式，並沒有太大的差別。市場上多一點競爭，難道不是一件好事嗎？

然而，美國的國家安全會議如今主要把中國的競爭視為零和賽局。這些官員認為華為構成的不是商業挑戰，而是一個戰略挑戰。索尼與三星是總部設在美國盟邦的科技公司，華為則是美國主要地緣政治對手的

科技龍頭。從這個角度來看，華為的擴張是一種威脅。國會也想要一個更強硬、更有戰鬥力的政策。2020年共和黨的參議員班．薩斯（Ben Sasse）宣稱：「美國需要壓制華為。現代的戰爭是靠半導體打的，我們卻讓華為使用美國的設計。」[11]

重點不在於華為直接協助中國軍方，而在於華為提升了中國的晶片設計與微電子技術的整體水準。中國生產的電子產品愈先進，購買的先進晶片就愈多，全球的半導體生態系統就會更依賴中國，而美國為此付出的代價就愈大。此外，鎖定中國最知名的科技公司，可以對全球發出一個訊息：提醒其他國家準備好選邊站了。阻礙華為崛起成了美國政府的執念。

川普政府首次決定加強對華為施壓時，是禁止業者賣美國製造的晶片給華為。由於英特爾的晶片隨處可見，而且許多美國公司只生產無可取代的類比晶片，光是這項禁令就有很大的毀滅性。然而，美國把製造外包數十年後，如今半導體製程仍留在美國的環節遠比以前少。例如，華為設計的晶片不是在美國生產，而是在台灣的台積電生產。美國缺乏製造先進智慧型手機處理器的設施。限制對華為出口美國製的商品，其實無助於阻止台積電為華為製造先進的晶片。

有人可能認為，晶片製造外移會使美國政府比較難以限制業者獲得先進的晶片。如果全球所有的先進晶片都在美國本土製造，要阻止華為取得先進的晶片確實比較容易。然而，美國還有其他的絕招。例如，晶片製造外移的過程，正巧與晶片業鎖喉點的日益集中壟斷一起發生。全球幾乎每個晶片都是使用三家美國公司之中至少一家的軟體：這三家公司分別是益華、新思科技、明導國際（明導國際是德國西門子旗下的公司，但總部位於俄勒岡州）。英特爾自己製造的晶片除外，所有最先進的邏輯晶片都是由三星與台積電這兩家公司製造，而這兩家公司都位於安全有賴美軍的國家。此外，製造先進的處理器需要的EUV曝光機只有一家公司能生產：荷蘭的ASML公司。而ASML又依賴其聖地牙哥的子公司西盟（ASML於2013年收購）為其EUV曝光機提供無可取代的光源。當那麼多關鍵步驟所需要的機台、材料或軟體是由少數幾家公司生產

時，要掐住晶片製程中的鎖喉點就容易多了。許多鎖喉點仍掌握在美國人手中，即使有些鎖喉點不是美國人掌控的，也是由美國的親近盟友掌控。

約莫這個時候，亨利．法雷爾（Henry Farrell）與亞伯拉罕．紐曼（Abraham Newman）這兩位學者提出所謂的[12]「武器化的互賴關係」（weaponized interdependence）。他們注意到，這種互賴關係對國際政治與經濟關係的影響愈來愈大。他們指出，各國比以往更加緊密相連，但相互依存非但沒有化解衝突、促進合作，反而為競爭創造了新的場合。把各國交織在一起的網絡，已經變成衝突的領域。例如，在金融界，美國利用其他國家對銀行系統的依賴，把這個籌碼變成懲罰伊朗的武器。這些學者擔心，美國政府把貿易與資本流動當成政治武器時，可能會危及全球化，並帶來意想不到的危險後果。相反的，川普政府則認為，把半導體供應鏈變成武器是它的獨特權力。

2020年5月，美國政府進一步[13]加強對華為的限制。商務部宣布將「限制華為使用美國技術與軟體在海外設計及製造半導體的能力，以保護美國的國家安全」。商務部的新規定不單只是禁止業者出售美國生產的商品給華為而已，也禁止業者出售任何使用美國技術製造出來的商品給華為。在一個充滿鎖喉點的晶片業，這表示幾乎任何晶片都算在內。台積電不用美國的製造設備，就無法為華為製造先進的晶片。華為不用美國生產的軟體，就無法設計晶片。就連中國最先進的代工廠中芯國際，也廣泛依賴美國的機台。華為基本上被隔絕在全球整個晶片製造的基礎設施之外，除了美國商務部勉強給予它特殊購買許可的晶片以外。

全球晶片業很快就開始執行美國的規定。雖然美國這番行動可能使台積電失去第二大客戶，但台積電的董事長劉德音承諾，台積電不僅會遵守法律條文，也會[14]遵守法規的精神。他告訴記者：「出口新規和美國政府的意向有關，不只是單純的法律問題。」從此以後，華為被迫把智慧型手機與伺服器的

事業[15]拆分出去，因為它[16]無法獲得必要的晶片。中國的5G電信網路本來是備受矚目的政府重點要務，但由於晶片短缺，該計畫[17]已被拖延。美國實施禁令後，其他國家也決定禁止華為，尤其是英國，理由是：如果沒有美國的晶片，華為將難以維護其產品。

在華為受到攻擊後，其他多家中國科技公司也被列入黑名單。荷蘭與美國討論以後，決定不准ASML把EUV機台銷售給[18]中國公司。2017年被AMD描述為「策略夥伴」的超級電腦公司曙光，於2019年被美國[19]列入黑名單。[20]飛騰也是如此，根據《華盛頓郵報》的報導，美國官員指出，飛騰是為超級電腦設計晶片，那些超級電腦是用來測試高超音速導彈。飛騰的晶片是使用美國的軟體設計，在台灣的台積電生產。飛騰因為進入美國及美方盟友的半導體生態系統而成長，但飛騰對外國軟體與製造的依賴，使它極易受到美國限制的影響。

不過，說到底，美國對中國科技公司的攻擊還是有限。騰訊與阿里巴巴等許多中國最大的科技公司在購買美國晶片或把晶片生產外包給台積電方面，並未受到具體限制。中國最先進的邏輯晶片生產商中芯國際在購買先進的晶片製造設備上雖然面臨新的限制，但並未因此被迫退出市場。甚至連華為也被允許購買比較老舊的半導體，例如那些用來連接4G網路的半導體。

然而，令人驚訝的是，中國最全球化的科技公司受到攻擊，中國竟然沒有採取任何報復行動。中國曾一再揚言要懲罰美國的科技公司，卻從未行動。中國政府表示正在草擬一份[21]「不可靠的實體名單」，列出危及中國安全的外國公司，但看起來還沒

有任何公司上榜。中國政府顯然已經考慮到，與其反擊美國，還不如接受華為將變成二流的科技公司。事實證明，在切斷供應鏈方面，美國擁有把事情鬧大的優勢。一位前美國官員在華為遭到攻擊後表示：「武器化的互賴關係是

22

美事一樁。」

52

中國的史普尼克危機？

2020年1月23日，中國武漢面對來勢洶洶的新冠疫情，開始封城，並面臨了疫情期間最嚴苛、持續最久的一些限制措施。當時，新冠病毒及其引發的疾病仍鮮為人知。一開始，中國政府一直壓抑病毒的討論，後來病毒不僅席捲武漢，也傳播到中國與世界各地。中國政府太晚封閉進出武漢的交通、在城市的周邊設置檢查站、關閉企業，並命令全市近千萬名居民在封城結束前不得離開住所。以前從來沒有如此龐大的都市直接遭到封鎖。封城後，高速公路空無一人，人行道杳無人跡，機場與車站都關閉了。除了醫院與超市以外，幾乎所有的商家都大門深鎖。

只有一家廠商例外。總部位於武漢的長江存儲（YMTC）是中國NAND記憶體的領先業者。NAND記憶體是一種隨處可見的晶片，從智慧型手機到USB隨身碟等消費裝置中都有NAND記憶體。目前有五家公司生產有競爭力的NAND晶片，沒有一家公司的總部設在中國。不過，許多業界專家認為，在所有類型的晶片中，中國想要達到世界級製造能力的最佳機會，就是在NAND這個領域。長江存儲除了獲得國家晶片基金及省政府的資助，在全球大肆投資晶片公司的紫光集團也提供了至少240億美元的資金。

日媒《日經新聞》對中國晶片業做過一些非常精彩的報導，它指出，中國政府極力支持長江存儲，該公司即使在封城期間仍獲准繼續營運。行經武漢的火車上，有專門為長江存儲的員工所準備的專用車廂，讓他們在封城下依然可以進入武漢。即使是2020年2月底與3月初，當中國的其他城市仍處於封城狀態時，長江存儲仍持續為武漢的工作

招募人力。中國領導人為了對抗新冠病毒，幾乎願意採取一切手段，但他們還是把打造半導體業列為首要之務。

一般普遍認為，中美不斷升溫的科技競爭，對中國政府來說有如「史普尼克危機」。這是指中國現在的情況有如1957年蘇聯發射史普尼克衛星後，美國擔心自己落後競爭對手而大舉投資科學與技術領域。在美國禁止業者向華為等公司銷售晶片後，中國確實面臨著類似史普尼克那樣的衝擊。研究中國科技政策的頂尖專家王丹（音譯Dan Wang）[*1]認為，美國的限制催生了政府支持晶片業的新政策，「促使中國政府追求[2]技術上的主導地位」。他認為，如果美國沒有推出新的出口管制，《中國製造2025》會像中國以前的產業政策一樣，只是浪費大量資金罷了。但現在由於美國施壓，中國政府可能會為中國的晶片廠商提供更多的支持。

爭論點在於，究竟哪種做法比較明智：美國應該想辦法破壞中國日益壯大的晶片生態系統（因此無可避免地引發中國反擊）？還是直接在國內投資，同時希望中國晶片業的發展動力逐漸消失？美國的禁令無疑刺激了中國政府對中國的晶片廠商挹注了新一波的支持。習近平最近任命他的重要財經智囊劉鶴擔任[3]「晶片沙皇」，來主持中國的半導體發展大計。中國無疑花了數十億美元補貼晶片公司，但這些資助是否會促成新技術的誕生，[4]還有待觀察。例如，武漢不僅是長江存儲的所在地（長江存儲是中國最有希望創造NAND晶片平等地位的公司），也是中國最近一樁半導體大騙局的發生地。

武漢弘芯（HSMC）這個案例顯示，沒有提出足夠的問題，就一口氣把資金投入半導體業的風險。據一篇已經從網路上消失的中國媒體報導，一群騙子創立了武漢弘芯，他們拿著印有「台積電副總裁」的假名片，散布自己親戚是中共高層的謠言。他們騙了武漢的地方政府來投資武漢弘芯，然後用那些資金去聘請台積電研發部門的前負責人來當執行長。有他加入以後，他們再從ASML公司買來一台深紫外線微影設備，然後藉此又向投資者募集了更多資金。但武漢的工廠其實是台積電老廠

的劣質翻版，武漢弘芯仍試圖產出第一塊晶片時，公司就破產了。

失敗的例子不止限於這種地方性的實驗。紫光集團在全球大肆收購後，現金告罄，導致部分債券違約。連紫光執行長趙偉國的高層政治人脈也不足以拯救紫光，雖然它擁有的晶片公司可能毫髮無損地度過難關。中國國家發展和改革委員會（簡稱「發改委」）的一位官員曾公開哀歎，中國的晶片業[5]「沒經驗、沒技術、沒人才」。這雖然是誇大其詞，但顯然中國在半導體專案上浪費了上百億美元，那些專案有的不切實際，有的就像武漢弘芯一樣，根本是公然的詐欺。如果中國的史普尼克危機是激發出更多這種國家支持的半導體專案，那麼中國永遠也達不到技術獨立。

在這樣一個供應鍊橫跨多國的產業裡，技術獨立一直是痴心妄想，即使是對美國這個全球最大的半導體生產國來說也是如此。對中國這個在供應鏈的許多環節（從機械到軟體）都缺乏競爭力的國家來說，想要追求技術獨立就更困難了。為了完全獨立，中國需要取得頂尖的設計軟體、設計能力、先進的材料和製造技術，以及其他措施。中國無疑將在一些領域有所進展，但中國想在國內複製某些領域的成本實在太高、也太難了。

以複製ASML的EUV機台為例，那會需要什麼？這種機台花了近30年的時間才被成功開發出來並商業化。EUV機台是由許多部分組成的，那些組件本身就是極複雜的工程挑戰。光是複製EUV系統中的雷射，就需要辨識及組裝457,329個部件。單一缺陷就足以造成嚴重的延遲或可靠性問題。中國政府無疑已經派出一些最頂尖的間諜去研究ASML的生產流程。然而，即使他們已經駭入相關的系統並下載了設計規格，那麼複雜的機器也無法像電腦檔案那樣直接複製貼上。即使間諜取得了專業資訊，他們也需要光學或雷射方面的博士學位才看得懂——就算他們真的有那些專業知識，他們也沒有研發EUV的工程師累積的30年經驗。

也許10年後，中國真的可以成功製造出自己的EUV曝光機。如果成真，將會耗資數百億美元，但等到成品完工，也已經不是頂尖技術了

——這個真相肯定令人沮喪。到時候，ASML將推出新一代的設備，名為高數值孔徑EUV（high-aperture EUV），預計在2020年代中期登場，每座機台[6]造價3億美元，是第一代EUV機台的兩倍。即使未來中國的EUV曝光機和ASML的現有設備運作得一樣好（這其實很難想像，因為美國會努力限制中國從其他國家獲取零組件的能力），中國的晶片製造商也很難靠它生產有利可圖的產品，因為到了2030年，台積電、三星、英特爾已經使用他們的EUV曝光機10年了，這10年來他們已經精進了機台的運用，也回收了這些機台的成本。相較於中國公司用中國製的EUV曝光機所生產的晶片，他們將能以更便宜的價格，出售用ASML的EUV曝光機所生產的晶片。

EUV機台只是透過跨國供應鏈生產的眾多機台之一。把供應鏈的每個環節都轉到國內，成本會高到不可思議。全球晶片業每年的資本支出超過1000億美元。中國除了要建立目前缺乏的專業知識與設施基礎外，也必須複製這種規模的支出。建立一個完全在國內的先進供應鏈需要花10年以上的時間，而且這期間的花費遠遠超過一兆美元。

所以跟表面上的說詞不同，中國其實並沒有追求一個完全在國內的供應鏈。中國政府知道那根本不可能。中國想要的是「非美國的」供應鏈，但由於美國在晶片業有強大的影響力，再加上其出口法規的治外法權，想打造一個非美國的供應鏈也是不切實際（除非是在遙遠的未來）。對中國來說，可行的做法是減少在某些領域對美國的依賴，並增加自己在晶片業的整體權重，盡可能擺脫各種鎖喉技術。

如今中國面臨的核心挑戰之一是，許多晶片不是使用x86架構（用於個人電腦與伺服器），就是使用ARM架構（用於行動裝置）。x86是由英特爾與AMD兩家美商主導；授權其他公司使用其架構的ARM則是總部設在英國。不過，現在有一種新的開源指令集架構，稱為RISC-V，任何人都可以免費使用。開源架構的概念吸引了晶片業的許多領域。目前必須向ARM支付授權費的任何業者，都希望有免費的替代方案。此外，開源架構也可能降低安全缺陷的風險，因為開放意味著有更多的工程師

可以驗證細節及找出錯誤。基於同樣的理由，創新的步調也可能比較快。這兩個因素解釋了為什麼DARPA資助許多與開發RISC-V有關的專案。中國企業也積極接納RISC-V，因為他們認為RISC-V在地緣政治上是中立的。2019年，負責管理該架構的RISC-V基金會就是為了中立，而把總部

7

從美國遷到瑞士。阿里巴巴等公司已經在設計以RISC-V架構為基礎的處理器。

除了採用新興架構以外，中國也把焦點放在用舊有的工藝技術來打造邏輯晶片。智慧型手機與資料中心需要最先進的晶片，但汽車與其他的消費設備通常使用較舊的工藝技術，舊有技術已經夠強大，而且便宜多了。中國新晶片廠的投資（包括像中芯國際那樣的公司），大多是投向落後節點的產能。中芯國際已經證明，中國有勞力生產有競爭力的非先進邏輯晶片。即使美國加強出口限制，也不太可能禁止出口有數十年歷史的製造設備。此外，中國也大舉投資碳化矽、氮化鎵等新興半導體材料，這些材料不太可能取代多數晶片中的純矽，但可能在電動車的電力系統管理方面發揮更大的作用。在這方面，中國可能也擁有必要的技術，所以政府補貼也許可以幫忙壓低價格，

8

搶生意。

其他國家擔憂的是，中國的連串補貼可能使中國在供應鏈的許多環節搶到市占率，尤其是那些不需要最先進技術的環節。除非未來又出現禁止中國取得外國軟體與機台的嚴格新規定，否則中國看起來可能會在生產非先進的邏輯晶片方面，扮演更大的角色。此外，中國為了幫電動車開發省電晶片，投入了大量資金。與此同時，中國的長江存儲確實有機會在NAND記憶體市場搶到可觀的市場。據估計，在整個晶片業，中國製造占全球產能的比例，將從2020年代初期的15%增至

9

2030年的24%，在產量上超過台灣與南韓。幾乎可以肯定的是，中國在技術上仍將落後。但如果更多的晶片業轉移到中國，中國將有更多的籌碼可以要求技術轉移。到時候，美國與其他國家要實施出口限制的成本

會變得更高，中國將會有更多的勞力可以取用。幾乎所有的中國晶片公司都依賴政府的支持，所以對他們來說，國家目標與商業目標一樣重要。一位高管告訴《日經新聞》，在長江存儲，「獲利及上市不是首要之務」。該公司是專注在「打造中國自己的晶片，[10]實現中國夢」。

*1 龍洲經訊（Gavekal Dragonomics）的科技分析師。

53

短缺與供應鏈

拜登面對螢幕，在Zoom上向一群執行長宣布：「我們國家已經太久沒為了超越全球的競爭對手，而做必要的大規模、大膽投資。」他坐在白宮羅斯福總統的肖像之下，舉起一塊12吋的矽晶圓，訓斥那些高管「在研發與製造方面落後……[1]我們必須加油」。螢幕上的19名高階主管中，有許多人認同他的說法。

為了討論美國對晶片短缺的反應，拜登邀請了台積電等外國公司以及英特爾等美國晶片製造商，還有飽受半導體嚴重短缺之苦的知名用戶來開會。福特（Ford）與通用汽車（GM）的執行長通常不會受邀參加晶片的高層會議，通常他們也對這種會議不感興趣。但2021年一整年間，隨著世界經濟與供應鏈因新冠疫情所造成的中斷而動盪，世界各地的人開始意識到，他們的生活與生計有多麼依賴半導體。

2020年，就在美國開始對中國實施晶片鎖喉策略，切斷中國一些領先的科技公司取得美國晶片技術的管道時，第二個晶片鎖喉點開始掐緊了世界經濟的部分領域，某些類型的晶片變得難以取得，尤其是廣泛用於汽車的基本邏輯晶片。這兩個晶片鎖喉點有部分相關。華為等中國公司至少從2019年開始就在囤積晶片，為未來可能遭到美國制裁預做準備，中國的晶片製造廠則是盡可能地買進製造設備，以防美國決定加強對晶片製造設備的出口限制。

然而，中國的囤積只解釋了一部分新冠疫情期間出現的晶片鎖喉點。更大的原因在於新冠疫情爆發後，晶片訂單出現巨大波動，因為企業與消費者都調整了對不同商品的需求。

2020年，隨著數百萬人為了在家工作而升級電腦，個人電腦的需求

激增。隨著愈來愈多的生活轉移到線上，資料中心對伺服器的需求也成長了。汽車公司起初削減了晶片訂單，預計汽車銷量將大幅下滑。結果當需求迅速恢復時，他們發現晶片製造商已經把產能重新分配給其他客戶。

美國汽車政策委員會（American Automotive Policy Council）的資料顯示，世界上各大車廠在每輛汽車上使用上千個晶片，即使只缺一個晶片，汽車也無法出貨。2021年的大部分時間，汽車製造商都面臨買不到晶片的窘況。據業界估計，這些汽車公司2021年的產量比沒有面臨晶片短缺時少了770萬輛，相當於[2]2100億美元的收入損失。

拜登政府與多數媒體都把晶片短缺解讀為供應鏈問題。白宮委託外界針對供應鏈的弱點寫了一份250頁的半導體報告。不過，半導體短缺的主因並不是晶片供應鏈的問題。有些供應確實中斷了，例如馬來西亞因新冠疫情而封城，影響了當地的半導體封裝作業。但根據研調機構IC Insights的資料，2021年全球生產的晶片比以往多——超過1.1兆個半導體裝置，與2020年相比[3]成長了13%。半導體短缺的主因是需求成長，而不是供給問題。那是新的個人電腦、5G手機、AI資料中心所帶動的需求，最終而言，是我們對運算力永無止境的需求所驅動的。

因此，世界各地的政界人士誤判了半導體供應鏈的困境。問題不在於晶片業分散的生產流程對新冠疫情及隨之而來的封城因應不當。很少產業安然度過這場疫情、沒受到嚴重干擾。晶片業出現的問題，尤其是汽車晶片的短缺，主要是因為汽車廠在疫情爆發初期瘋狂又衝動地取消訂單，再加上他們採用「及時生產」（just-in-time）製程，幾乎沒有容錯的餘地。對於收入受到數千億美元衝擊的汽車業來說，他們理當重新思考自己的供應鏈該如何管理。

另一面，半導體業則是迎來豐收的一年。除了大地震以外（這是機率很低、但不是零的風險），實在很難想像和平時期的供應鏈衝擊比晶

片業2020年初以來度過的情況還要嚴重。2020年與2021年晶片產量的大幅成長，並不是跨國供應鏈受損的跡象，而是跨國供應鏈奏效的跡象。

然而，各國政府應該比過去更認真地思考半導體的供應鏈。過去幾年，供應鏈帶給我們的真正啟示，跟脆弱性無關，而是跟獲利與權力有關。台灣的非凡崛起讓我們看到，一家公司有遠見、有政府資金的支援，如何改造整個產業。與此同時，美國限制中國取得晶片技術的限令則顯示，晶片業的鎖喉點有多強大。不過，中國半導體業過去10年來的崛起也提醒了所有人，這些鎖喉點並非持久有效。國家與政府往往可以找到迴避鎖喉點的方法，儘管那麼做既耗時又代價昂貴，有時甚至是極其高昂的代價。此外，技術轉移也會削弱鎖喉點的效力。

只有當少數兩三家公司掌控鎖喉點時，這些鎖喉點才有效，而且理想情況下，只有一家公司掐緊鎖喉點的效果最好。雖然拜登政府承諾

「與產業界、盟友、夥伴」合作，但對於晶片業的未來，美國與其盟友並非完全一致。

美國想扭轉其晶片製造占比下降的局面，並在半導體設計與機台方面維持主導地位。然而，歐洲與亞洲國家希望在高價值晶片的設計市場搶占更大的市占率。與此同時，台灣與南韓都沒有打算放棄他們在製造先進邏輯與記憶體晶片方面的市場領先地位。當中國把擴大產能視為國安必要條件時，未來美國、歐洲、亞洲之間可瓜分的晶片製造業務量有限。如果美國想增加市占率，其他國家的市占率就必須減少。美國暗中希望從其他擁有現代晶片製造廠的區域奪取市占率。然而，在中國之外，全球所有的先進晶圓廠都位於美國的盟國或親美的國家。

不過，南韓打算維持它在記憶體晶片的領先地位，同時試圖擴大在邏輯晶片領域的地位。南韓總統文在寅指出：「半導體業者之間的競爭，開始吸引一些國家加入。我國政府也將與我國業者團隊合作，讓韓國

維持半導體強國的地位。」韓國政府在平澤市挹注了大量資金，那裡曾

是美軍基地，現在是三星設立大廠的地方。從應用材料到東京威力科創（Tokyo　Electron）等各大晶片設備商也在當地開了分公司。三星表示打算在2030年以前，在邏輯晶片事業上投入逾1000億美元，在記憶體晶片的生產上也會投入類似規模的資金。三星集團創辦人的孫子李在鎔因賄賂罪而入獄服刑，2021獲假釋出獄。韓國司法部的釋放理由是

6

「經濟因素」，據媒體報導，這些經濟因素中也包括預期李在鎔會為三星做出重大的半導體投資決策。

三星及規模較小的韓國競爭對手SK海力士雖獲得韓國政府的支持，卻夾在中美兩國之間，兩國都試圖說服南韓的晶片巨擘到國內建立更多的生產設施。例如，三星最近宣布計畫在德州奧斯汀擴大及升級先進邏輯晶片的生產設施，據估計將耗資170億美元。不過，這兩家南韓公司在升級中國廠房的提議上都面臨美國的仔細審查。據報導，美國對SK海力士施壓，要求SK海力士不要把EUV機台轉移到

7

中國無錫的工廠，施壓拖延了該廠的現代化，可能也為SK海力士帶來可觀的成本。

南韓不是唯一推動晶片公司與政府「團隊合作」的國家（套用文在寅總統的說法），台灣政府仍積極保護其晶片業，一般普遍認為這是台灣在國際舞台上最大的籌碼。張忠謀表面上已從台積電完全退休，但仍擔任台灣的貿易代表。他的主要關注重點、也是台灣關注的重點，仍是確保台積電在全球晶片業維持核心地位。台積電打算在2022年至2024年投資逾1000億美元來升級技術及擴大晶片產能。這些資金大多會投資在台灣，但台積電也打算升級位於中國的南京廠，並在美國的亞利桑那州開設新廠。不過，這兩家新廠都不會生產最先進的晶片，因此台積電最先進的技術仍將留在台灣。張忠謀持續呼籲半導體業的「自由貿易」，並預警如果不這麼做，「成本會上升，科技發展會減緩」。與此同時，台灣政府也一再透過干預來支持台積電，包括壓低台幣匯率，讓台灣的出口品

8

更有競爭力。

歐洲、日本、新加坡是另外三個尋求新半導體投資的地區。有一些歐盟的領導人建議，歐陸可以「大規模投資」生產3奈米或2奈米的晶片，[9]讓歐洲的晶圓廠處於領先地位。由於歐陸在先進邏輯晶片的市占率很低，上述建議不太可能實現。比較可行的是，歐洲說服英特爾等大型的外國晶片公司建造新廠，為歐洲的汽車製造商提供穩定的供貨。新加坡持續為晶片製造提供大量的激勵措施，最近獲得美商格芯投資40億美元建設新廠。

與此同時，日本正提供台積電巨額補貼，讓台積電與索尼[10]合作設立一家新的晶片製造廠。在盛田昭夫等高管退休後的幾十年間，日本失去了許多晶片製造事業，但索尼仍保有一個規模可觀、獲利豐厚的事業，生產可感應圖像的半導體，這種半導體用在許多消費裝置的攝影鏡頭中。不過，日本補貼台積電新廠的決定，主要不是為了幫助索尼。日本政府擔心，晶片製造要是持續外移，日本在供應鏈中仍有強勢地位的環節（例如機台與先進材料）也會轉移到國外。

日本現在很需要新的盛田昭夫，美國則是迫切需要新的葛洛夫。美國在晶片業仍有令人羨慕的地位，掐住了晶片業的許多鎖喉點（包括軟體與機台），而且美國對這些鎖喉點的掌控跟以往一樣強大。輝達等公司看起來可能會在AI等運算趨勢的未來扮演關鍵角色。此外，在晶片新創企業退流行10年之後，矽谷過去幾年在設計新晶片的無廠房公司投入了大量資金，這些公司通常專注於精進AI應用的新架構。

然而，在製造晶片方面，美國目前是落後的。美國製造先進晶片的主要希望是英特爾。英特爾經過多年的放任自流，於2021年任命派特．基辛格（Pat Gelsinger）為執行長。基辛格生於賓州小鎮，職涯始於英特爾，曾獲得葛洛夫的提攜指導。他後來離開英特爾，在兩家雲端運算公司擔任高職，之後才被英特爾找回來扭轉頹勢。他規劃了一套雄心勃勃、耗資巨大的三方面策略。第一是奪回英特爾在製造的領導地位，超越三星與台積電。為此，基辛格與ASML達成一項協定，讓英特爾率先

取得下一代的EUV機台，預計將於2025年準備就緒。如果英特爾能在競爭對手之前學會使用這些新機台，這些機台就可以提供技術優勢。

基辛格策略的第二方面是推出代工事業，與三星及台積電直接競爭，為無廠房晶片公司生產晶片，為英特爾爭取更多的市占率。英特爾投下鉅資，在美國與歐洲興建工廠，打造潛在代工客戶所需的產能。然而，要讓代工事業獲利，可能需要爭取到一些生產先進產品的客戶。也就是說，英特爾必須縮小與三星及台積電之間的技術落差，代工策略才有可能奏效。

然而，英特爾轉向代工業之際，剛好碰到其資料中心晶片的市占率持續下降——既是因為來自AMD與輝達的競爭，也是因為亞馬遜網路服務、Google等雲端運算公司正在設計自己的晶片。

英特爾的成敗，端看它是否能夠執行基辛格的策略，以及三星或台積電會不會出現失誤而定。摩爾定律的延續，需要這些公司每隔幾年就推出新技術，因此英特爾這兩家競爭對手很容易面臨重大延誤。然而，英特爾的策略還有一個令人不安的第三方面：尋求台積電的協助。英特爾開始在公開場合鼓吹新一波的晶片民族主義，以及對依賴亞洲生產的擔憂。它努力從美國與歐洲政府獲得補貼、在國內建造晶圓廠。「世界需要一個更平衡的供應鏈，」基辛格說，「上帝決定了石油儲存量在哪裡，[11]我們可以決定晶圓廠在哪裡。」然而，英特爾一方面試圖解決內部晶片製造問題，一方面又把愈來愈多的先進晶片生產外包給台積電設在台灣的最先進工廠。

美國政府開始考慮先進晶片的製造集中在東亞的問題，因此說服台積電與三星在美國開設新廠。台積電計畫在亞利桑那州設廠，三星則是在德州的奧斯丁附近擴廠。這些晶圓廠的設立，有部分是為了安撫美國政客，但它們也將為國防與其他關鍵的基礎設施生產晶片，美國比較希望在國內製造這些晶片。然而，台積電與三星都打算把絕大部分的產能

及最先進的技術留在自己國內。即使美國承諾補貼，也不太可能改變這點。

美國的國安官員有愈來愈多聲音在討論是否利用晶片設計軟體與製造設備的出口管制，來脅迫台積電在美國和台灣同步推出最新製程技術。或者，台積電也可能被迫承諾，在台灣每投入一美元的資本支出，也必須在台積電的日本、亞利桑那州或新加坡的新廠投入一美元的資本支出。這些行動可能會開始減少全球對台灣晶片製造的依賴。但目前而言，美國政府並不願施加必要的壓力，因此全球對台灣的依賴仍會持續增加。

54

台灣的兩難

一位金融分析師問台積電的董事長劉德音，中國不時威脅「武力犯台」，「[1]你的客戶擔心嗎？」一般的執行長都很習慣在法說會上接應棘手的問題，但那種場合的提問通常是有關獲利沒達標或產品上市出狀況。2021年7月15日，台積電的財報看起來很好，公司挺過了第二大客戶華為遭到制裁的衝擊，業績幾乎沒受到影響。台積電的股價接近歷史高點，全球半導體短缺使其事業更有利可圖。2021年，台積電一度成為亞洲最有價值的上市公司，也是全球市值最高的十大上市公司之一。

然而，台積電變得愈不可或缺，它的風險愈大——這不是指台積電的財務狀況，而是它的製造廠。即使多年來選擇忽視中美對立嚴重性的投資者，也開始緊張地看著台灣西岸的台積電晶圓廠分布圖。台積電的董事長堅稱不需要擔心這個問題。「關於中國入侵台灣，我可以告訴你，每個人都希望台海和平。」劉德音生於台北，柏克萊畢業，曾在貝爾實驗室任職，在晶片製造方面有無可挑剔的學經歷。然而，他評估戰爭風險的能力仍有待檢驗。他認為，由於全球依賴「台灣的半導體供應鏈，沒有人想要破壞它」，大家都希望台海和平，因為這「符合各國的利益」。

翌日，7月16日，數十輛中國人民解放軍05式兩棲裝甲戰車從中國海岸駛向大海。這些戰車看起來像坦克，但既能在海灘上行駛，也能像船一樣在水中疾馳，是解放軍發動兩棲攻擊的利器。據中國官方媒體的報導，數十輛05式兩棲裝甲戰車駛入大海後，開向停在近海的登陸艦，從水中開上登陸艦，準備「遠距渡航」。登陸艦朝著目標駛去。抵達後，船首的大門打開，兩棲戰車衝入水中，駛向海灘，一邊前進[2]

一邊發動砲擊。

這只是一次演習。在接下來的幾天裡，解放軍在台灣海峽的南北入口附近展開了其他演習。中國的《環球時報》引用一位營長的話：「我們必須像在實戰情境中那樣刻苦訓練，無時無刻做好戰鬥的準備，

3

堅決捍衛國家主權與領土完整。」該報也刻意指出，演習地點離東沙島僅300公里。東沙島是位於台灣與香港之間的小環礁，與台港等距，由台灣管轄。

台灣爆發戰爭的方式有很多種，但一些國防專家認為，最有可能的形式是爭搶東沙島的局面升溫。美國的國防專家最近規劃的一場軍事演習，是設想中國軍隊登陸東沙島，不費一槍一彈就擒拿島上的台灣駐軍。台灣與美國將面臨一個棘手的選擇：究竟要為了一個小環礁開戰，還是要放任中國

4

像切香腸一樣，切走台灣的一小塊領土，留下先例。「溫和」因應的方式，將包括在台灣駐紮大量美軍，或對中國發動網路攻擊，而這兩種做法都很容易升級為全面衝突。

美國國防部針對中國軍力所發表的公開報告，列出中國武力犯台的多種可能方式。最直接、也最不可能的方法，是諾曼地登陸式的入侵，派出數百艘中國軍艦穿越海峽，送成千上萬名解放軍上岸。兩棲入侵的歷史充滿了災難，美國國防部判斷，這種行動將使解放軍的能力「吃緊」。中國在發動攻擊以前，想摧毀台灣的機場、海軍設施、電力和其他關鍵基礎設施幾乎沒什麼困難，但即便如此，那

5

也會是一場硬戰。

美國的國防部研判，解放軍改採其他的方法比較容易。局部的空中與海上封鎖，將使台灣無法獨自擊退解放軍。即使美國與日本軍隊加入台灣，試圖打破封鎖，也很難做到。中國在海岸部署了強大的武器系統。封鎖不需要完全有效，就能扼殺台灣的貿易。結束封鎖需要台灣與

其盟友（主要是美國）摧毀中國領土上部署的數百個
[6]
中國軍事系統。然而，打破封鎖的行動，很容易演變成一場血腥的大國戰爭。

即使沒有封鎖，中國光靠空中與導彈行動，不必派出任何地面部隊，就足以削弱台灣的軍力，讓台灣的經濟停擺。在沒有美國與日本的立即援助下，中國空軍與導彈可能在兩三天內就解除台灣的主要軍備（機場、雷達設施、通訊樞紐等等），不會嚴重影響到台灣的產能。

台積電的董事長說，沒有人想要「破壞」縱橫交錯於台灣海峽上的半導體供應鏈，這說法確實沒錯。但美國與中國都想要進一步掌控這些供應鏈。中國沒有理由出於怨恨而摧毀台積電的晶圓廠，因為那樣做會導致中國受到和其他國家一樣多的傷害，尤其考慮到美國及盟友仍可使用英特爾與三星的晶圓廠。此外，中國軍隊入侵並直接占領台積電的設施，也是不切實際的想法。因為他們很快就會發現，關鍵材料以及機台的軟體更新，都必須從美國、日本和其他國家取得。此外，如果中國真的入侵台灣，也不太可能把台積電的所有員工都抓起來。要是中國真的那樣做，只要有一些憤怒的工程師反抗，就足以破壞整個行動。解放軍已經證明自己可以從中印兩國爭奪的邊境上奪走喜馬拉雅山峰，但是要奪走全球最複雜的工廠，裡面又充滿爆炸性氣體、危險化學品、全球最精密的機器，那完全是另一回事。

我們很容易想像，空中或海上衝突之類的事故升溫，演變成雙方都不想要的災難性戰爭。但中國也很可能認為，不必全面入侵，只要軍事施壓，就能明顯地破壞美國暗中承諾的安全保障，並徹底打擊台灣士氣。中國知道，台灣的防禦策略是只要能撐到美方與日方援助就好了。相較於對岸的超級大國，台灣那麼小，除了指望盟邦以外，沒有其他實際的選擇了。試想，中國要是運用海軍，對進出台灣的一小部分船隻進行海關檢查，美國會如何因應？封鎖是一種戰爭行為，但沒有人想要先開火。如果美國什麼都不做，中國的行為可能嚴重衝擊台灣的戰鬥意願。如果中國要求台積電再次為華為及其他的中國公司生產晶片，或甚至要求台積電把關鍵人員與技術移轉到大陸，台灣能說不嗎？

對中國政府來說，上述行動都有風險，但並非無法想像。掌控台灣是中國的執政黨最重要的目標，而且中國的領導人也不斷承諾要那樣做。中國政府通過了《反分裂國家法》，設想在台灣海峽使用所謂的[7]「非和平方式」。中國大舉投資跨海峽侵犯台灣所需的兩棲突擊戰車等軍事系統，並經常演習這些能力。分析師一致認為，海峽兩岸的軍力優勢已明顯偏向中國一方。1996年爆發台海危機時，美國只要派遣整個航空母艦戰鬥群穿過台灣海峽，就能迫使中國退下，但這種局面早已不復存在。現在，這種行動對美國軍艦來說充滿了風險。如今中國的飛彈不僅威脅著台灣周遭的美國船艦，也威脅到遠在關島與日本的美軍基地。解放軍的實力愈強大，美國冒著引爆戰爭的危險去保護台灣的可能性愈小。如果中國試圖對台灣施加軍事壓力，美國比較可能考量兩國的軍力對比，最後得出不值得冒險反擊的結論。

如果中國對台灣施壓成功，讓中國能平等、甚至優先取得台積電的晶圓廠產能，美國與日本肯定會做出回應，對先進機台與材料的出口施加新的限制——這些產品主要是來自美日兩國及其歐洲盟友。但是，要在其他國家複製台灣的晶片產能，需要好幾年的時間，而且在其他地方複製產能的同時，我們仍需要依賴台灣。這樣一來，我們不僅組裝iPhone要依賴中國，中國政府還可能影響或掌控當前唯一有技術能力與產能為我們生產晶片的晶圓廠。

對美國的經濟與地緣政治地位來說，這種情境都是災難。萬一戰爭爆發，台積電的晶圓廠被摧毀，情況又更糟了。整個世界經濟，以及縱橫交錯於亞洲與台灣海峽的供應鏈，都是建立在這種不穩定的和平上。在海峽任一岸投資的每家公司（從蘋果、華為到台積電），暗中都是把籌碼壓在台海和平上。從香港到新竹，有數兆美元投資在位於飛彈射程內的公司與設施上。全球的晶片業，以及晶片促成的所有電子品組裝，對台灣海峽與華南海岸的依賴程度，超過了矽谷以外的所有其他地區。

在加州的科技中心，大家不會那麼擔心營運偏離日常。萬一發生戰爭或地震，矽谷的許多知識都可以輕鬆轉移。這點在新冠疫情期間獲得

了檢驗，當時該區幾乎所有的工作者都被告知居家工作，大型科技公司的獲利不減反升。臉書的豪華總部萬一陷入聖安德列斯斷層中，臉書甚至可能幾乎不會注意到。

但萬一台積電的晶圓廠陷入車籠埔斷層中，將會撼動全球經濟。台灣上次發生超大地震，就是1999年車籠埔斷層移動造成的。但要在台灣造成類似規模的破壞，只需幾次爆炸就夠了（無論是故意還是意外）。有一些粗略的估計可以說明這將會攸關多少利益。台灣生產全球11%的記憶體晶片，更重要的是，台灣製造了全球37%的邏輯晶片。電腦、電話、資料中心、大多數的電子設備都需要用到這種晶片。所以萬一台灣的晶片廠因衝擊而停工，接下來那一年運算力的產出將會縮減37%。

那對於全球經濟的影響將會是災難性的。後新冠疫情時代的半導體短缺提醒了我們，不止手機與電腦需要晶片而已。飛機、汽車、微波爐、製造設備——所有類型的產品都將面臨可怕的延誤。約三分之一的個人電腦處理器的生產（包括蘋果與AMD設計的晶片）將會停擺，直到其他地方建立新廠為止。資料中心的容量成長將會大幅減緩，尤其對專注於AI演算法的伺服器來說更是如此，這種伺服器更依賴輝達、AMD等公司發包到台灣製造的晶片。其他的資料基礎設施將受到更大的打擊。例如，新的5G無線電設備需要幾家不同公司的晶片，其中許多晶片是台灣製造的。而5G網路的推出也會幾乎完全停擺。

這時停止行動網路的升級也合理，因為你可能也很難買到新手機。智慧型手機的處理器大多是在台灣製造，而一般手機約內建十個或更多的晶片，其中有許多也是在台灣製造。汽車通常需要數百個晶片，因此我們將面臨比2021年短缺更嚴重的延誤。當然，萬一戰爭爆發了，我們需要考慮的還不只是晶片而已。中國龐大的電子組裝廠可能會被切斷，我們必須找其他人來組裝手機與電腦元件。

然而，尋找新的組裝工人雖難，但相較於複製台灣的晶片製造廠，找人還是容易多了。想要複製台灣的晶片製造廠，挑戰不只是建造新的晶圓廠而已。這些新廠還需要訓練有素的人力，除非想辦法把許多台積電的員工從台灣轉移過去。就算真的做到，新的晶圓廠也需要配備生產

設備，例如ASML與應用材料公司的機台。在2021到2022年晶片短缺期間，ASML與應用材料公司都宣布，由於無法取得足夠的半導體，[8]機台的生產面臨延誤。萬一台灣發生危機，他們也難以為機台取得晶片。

換句話說，台灣如果爆發災難，總成本是以上兆美元計算。每年損失37%的運算力產出，其代價可能比新冠疫情及封城造成的經濟虧損還要慘烈。重建喪失的晶片製造力至少需要5年時間。現在的我們展望未來5年，目光會聚焦在建立5G網路與元宇宙，但萬一台灣停擺，我們可能連洗碗機也很難買到。

台灣總統蔡英文最近在《外交事務》雜誌（*Foreign Affairs*）上主張，台灣的晶片業是一塊「『矽盾』，讓台灣得以保護大家，避免威權政體激進地[9]破壞全球供應鏈」。這是一種非常樂觀的觀點。台灣的晶片業無疑會迫使美國更重視台灣的防務。然而，萬一「矽盾」擋不了中國，半導體生產集中在台灣也會讓世界經濟面臨風險。

在2021年的一項民調中，多數的台灣人表示，他們認為中國與台灣之間爆發戰爭的可能性不大（45%）或[10]不可能（17%）。然而，俄羅斯入侵烏克蘭這件事提醒了大家，台灣海峽在過去幾十年間基本上是維持和平，但這不表示戰爭是完全不可想像。烏俄戰爭也顯示，任何大規模的衝突，有部分是看一國在半導體供應鏈中的地位而定，因為那決定了該國動武的能力及經濟實力。

自蕭金擔任蘇聯的部長及設立澤列諾格勒以來，俄羅斯的晶片業一直落後矽谷。冷戰結束後，隨著俄羅斯的客戶大多選擇不再向國內的晶片製造商購買產品，並將生產外包給台積電，俄羅斯的晶片業已經衰落。俄羅斯晶片業者唯一剩下的客戶，是俄羅斯的國防與航太工業。這些買家的晶片採購量都不夠多，無法資助國內的先進晶片製造。因此，連俄羅斯的重點國防專案也難以取得需要的晶片。例如，俄羅斯的GPS

衛星就因為半導體採購的問題而
11
面臨痛苦的延遲。

俄羅斯在製造與取得晶片方面持續面臨困難，這解釋了烏克蘭上空遭到擊落的俄羅斯無人機內為什麼都內建
12
外國的微電子。這也解釋了俄羅斯的軍隊為什麼仍普遍依賴非精準打擊武器。最近一項研究分析了俄羅斯在敘利亞的戰爭，結果發現，高達95%的俄羅斯武器是
13
無導引的。俄羅斯在攻擊烏克蘭幾週後就面臨巡弋飛彈短缺，這有部分是因為俄羅斯的半導體業狀況不佳。與此同時，烏克蘭從西方獲得了大量的導引彈藥，例如標槍反坦克飛彈（Javelin anti-tank missile）。每枚標槍反坦克飛彈在瞄準敵方的坦克時，都要仰賴
14
兩百多個半導體。

俄羅斯對外國半導體技術的依賴，讓美國及其盟友握有強大的籌碼。在俄羅斯入侵烏克蘭後，美國協調歐洲、日本、南韓、台灣的合作夥伴，一起全面禁止對俄羅斯的科技、國防、電信業銷售
15
某些類型的晶片。從美國的英特爾到台灣的台積電等主要晶片製造商，都切斷了對俄羅斯的供貨。俄羅斯的製造業面臨痛苦的中斷，很大一部分的俄羅斯汽車廠被迫停產。根據美國情報機構的說法，連國防等敏感領域，俄羅斯的工廠也採取規避策略，例如把原本用於洗碗機的晶片
16
部署在飛彈系統中。俄羅斯除了減少晶片的使用以外，幾乎別無他法，因為俄羅斯現今的晶片製造力，甚至比太空競賽的全盛時期還弱。

不過，說到半導體領域，考慮到中國在半導體業的投資，再加上美國依賴的大部分晶片製造力都在中國解放軍的飛彈射程內，美國與中國之間正興起的冷戰並不會像以前那樣一面倒。如果以為發生在烏克蘭的事情不會發生在東亞，就太天真了。中國政府的分析人士看到半導體在烏俄戰爭中扮演的角色後曾公開表示，如果中美的緊張局勢加劇，
17

「我們必須把台積電搶到中國手裡」。

毛澤東的軍隊砲轟台灣控制的島嶼後，第一次的冷戰曾經為了台灣而陷入僵局，先是發生在1954年，後來1958年又發生一次。如今，中國軍備的破壞性更大，而台灣就處於中國軍備的射程範圍內。中國不僅有一系列的中短程飛彈，還有龍田與惠安空軍基地的飛機，從那裡飛到台灣只需要7分鐘。2021年，這些空軍基地還擴建及升級了掩體、跑道、[18]導彈防禦系統。新的台海危機將遠比1950年代的危機還要危險。此外，核戰風險依然存在，尤其考慮到中國不斷壯大的核武庫。但這次的對峙已不是為了一個貧窮的島嶼，這次的戰場將是那顆在數位世界裡怦怦跳動的心臟。更糟的是，現在與1950年代不同，目前還看不出中國人民解放軍最終會不會讓步。這次，中國可能會賭自己獲勝機率很高。

結語

不只建構歷史，也將塑造未來

1958年，就在中國人民解放軍開始砲轟金門的第五天，在達拉斯悶熱的夏天，基爾比向同事演示電路的所有元件，包括電晶體、電阻、電容器，[1]都可以用半導體材料製造。四天後，萊思羅普第一次把車子開進德州儀器的公司停車場。他已經申請了利用微影成像技術製造電晶體的專利，但還沒拿到軍方頒發的獎金去買新車。在那幾個月前，張忠謀從麻州一家電子公司離職，加入德儀，以近乎神奇的除錯能力大幅提升德儀半導體的良率，因此打響名聲。同年，海格底獲任德儀總裁，董事會認為他為軍事系統製造電子設備的願景，比生產德儀創立時的石油探勘儀器更好。海格底已經找來一群像沃德那樣的[2]優秀工程師組成團隊，為「智慧型」武器與精準的感測器打造需要的電子產品。

德州與台灣處於世界的兩端，但基爾比在中美危機期間發明積體電路並非巧合。美國向電子公司挹注國防資金，美國軍方有賴科技來維持優勢。隨著蘇聯與共產中國打造產業規模的軍隊，美國無法指望部署更大型的軍隊或更多的坦克，但它可以製造更多的電晶體、更精準的感測器、更有效的通訊設備，這一切最終將使美國的武器變得更加強大。

張忠謀在德州求職，而不是在天津等中國城市求職，這也不是巧合。對一個出身上層知識家庭又有雄心壯志的孩子來說，留在中國要面臨被折磨、甚至死亡的風險。在冷戰的混亂與去殖民化的破壞席捲全球之際，許多國家最優秀、最聰明的人才都試圖前往美國。巴丁與布萊頓發明了第一個電晶體，但真正設計出可量產電晶體結構的是他們在貝爾實驗室的同事穆罕默德．阿塔拉（Mohamed Atalla）與姜大元。與諾伊斯共同創立快捷半導體的「八叛逆」工程師中，有兩位是在美國以外的

地方出生。幾年後，一位幹勁十足的匈牙利移民，幫快捷半導體改善了公司晶片製程中的化學品使用，靠著努力晉升成為執行長。

當時，世界上的人大多沒聽過矽晶片，更少人知道矽晶片是如何運作的，美國的半導體生產中心正把全球最聰明的人才吸引到德州、麻州，尤其是加州。這些工程師與物理學家深信，把電晶體盡量縮小，就可以改變未來。事實證明他們是對的，而且結果遠遠超出他們最瘋狂的想像。摩爾與加州理工學院的米德教授等遠見家，預見了未來幾十年的景況。然而，1965年摩爾預測的[3]「家用電腦」與「個人隨身通訊設備」，根本還沒提到晶片在如今生活中的中心地位。半導體業每天生產的電晶體，[4]最終會超過人體細胞的數量——對當初那些開創矽谷的人來說，這是不可思議的概念。

隨著半導體業的規模擴大及電晶體的尺寸縮小，這個產業更加需要龐大的全球市場。如今，連美國國防部的7000億美元預算，也不足以在美國本土為國防目的打造生產先進晶片的晶圓廠。國防部有專屬造船廠來興建造價數十億美元的潛艇及上百億美元的航空母艦，但它使用的許多晶片是從商用供應商採購，而那些供應商通常是在台灣。對美國的國防部來說，現在連設計一款先進晶片的成本也變得太貴了，成本可能超過一億美元。製造最先進邏輯晶片的晶圓廠，成本是興建航空母艦的兩倍，而且只能暫居領先地位兩三年。

生產運算力的複雜度如此驚人，這顯示出矽谷不只是一個科學或工程的故事。技術只有在找到市場時才會進步。半導體的歷史也是一個有關銷售、行銷、供應鏈管理、降低成本的故事。如果沒有創業者，矽谷就不會存在。諾伊斯是麻省理工學院畢業的物理學家，但他以創業經商成名，他為一種當時還不存在的產品發現了巨大的市場。誠如摩爾在1965年發表那篇著名的文章所述，快捷半導體能否「在積體電路上塞入更多的元件」，不僅有賴該公司的物理學家與化學家，也有賴斯波克那種強勢的生產管理者。追求沒有工會的工廠，並分給多數員工股票選擇

權，可以持續地提高生產力。如今電晶體的價格遠遠不到1958年價格的百萬分之一，這要歸功於一位如今大家已遺忘的快捷半導體員工的精神，他在離職問卷上填寫的離職理由是：[5]

「我——要——去——賺——大——錢。」

回顧過往，「晶片創造了現代世界」這種說法未免太過簡化，因為我們的社會與政治建構出晶片的研究、設計、生產、組裝及使用的方式。例如，國防部的研發單位DARPA資助3D電晶體結構（亦即所謂的FinFET，這是用於最先進的邏輯晶片）的關鍵研究，真正塑造了半導體。未來，無論中國是否達成其稱霸半導體業的目標，其鉅額補貼也都將大幅改造半導體的供應鏈。

當然，沒有人能保證晶片在未來仍像過去一樣重要。我們對運算力的需求不太可能減少，但我們可能會耗盡供給。摩爾定律只是一個預測，不是物理學的事實。從輝達的執行長黃仁勳，到史丹佛大學的前校長兼Alphabet的董事長約翰．漢尼斯（John Hennessy）等業界名人，都宣稱[6]摩爾定律已死。在某個時點，物理定律將使電晶體不可能再縮小。即使在那個時點之前，製造更小電晶體的成本可能也會變得太高。成本下降的速度已明顯變慢。製造更小晶片所需的設備極其昂貴，尤其每台EUV曝光機的造價更是超過一億美元。

摩爾定律的終結，對半導體業乃至於全世界都將是極大的衝擊。我們每年之所以能生產更多的電晶體，純粹是因為這樣做在經濟上是可行的。然而，這不是第一次摩爾定律被宣判瀕臨死亡。1988年，IBM備受尊敬的專家、後來擔任美國國家科學基金會（National Science Foundation）主席的埃里希．布洛赫（Erich Bloch）曾說，電晶體縮小到四分之一微米時，摩爾定律就終止了。但10年後，[7]晶片業衝破了那個障礙。2003年摩爾在一次簡報中擔心地說，「未來10年左右，一如往常的運作肯定會遇到障礙」，但這些潛在的障礙都已經

被克服了。當時，摩爾認為3D電晶體結構是一個「激進的概念」，但不到20年後，我們已經生產了數兆個那樣的3D　FinFET電晶體。加州理工學院的米德教授自創了「摩爾定律」一詞。半個世紀以前，他預測每個晶片可能最終會包含一億個電晶體，那項預測震驚了全球的[8]半導體科學家。如今，最先進的晶圓廠可在一塊晶片上塞入米德預測的[9]100倍電晶體數量。

換句話說，摩爾定律的持久延續性，連當初創造這個詞的人和以他的名字命名的人都感到驚訝。它很可能也會讓如今的悲觀者跌破眼鏡。吉姆．凱勒（Jim　Keller）是知名的半導體設計師，一般普遍認為他改造了蘋果、特斯拉、AMD、英特爾的晶片。他說他看到了一條清晰的道路，可以把晶片內塞入的電晶體[10]密度提高50倍。首先，他認為現有的鰭式電晶體可以印得更薄，那就可以塞入三倍的電晶體。接著，鰭式電晶體將被新型的管狀電晶體所取代，這種電晶體通常稱為「環繞式閘極」（gate-all-around）。那是一種線形的管子，可以從頂部、側邊、底部各個方向施加電場，更好地控制「開關」，因應電晶體縮小所帶來的挑戰。凱勒認為，這些細線可以讓電晶體的密度再增加一倍。他預測，把這些細線堆疊起來，可以使密度再增加八倍。這樣加總下來，一塊晶片可容納的電晶體數量大約可增加50倍。凱勒說：「我們還沒耗盡原子，我們知道怎麼印出單層的原子。」

儘管大家一直在談論摩爾定律的終結，但流入晶片業的資金比以往更多。過去幾年，為AI演算法設計最適晶片的新創公司，已經募集了數十億美元，每家公司都希望成為下一個輝達。Google、亞馬遜、微軟、蘋果、臉書、阿里巴巴等大型科技公司正投入大量的資金設計自家晶片。顯然業界並不缺乏創新。

支持摩爾定律即將終結的最佳論點是，這些針對特定用途、甚至專為個別公司設計晶片的新活動，正在取代「通用」運算方面的持續精進

（過去半個世紀以來，英特爾以規律的步調不斷推出日益強大的微處理器）。尼爾．湯普森（Neil　Thompson）與斯溫賈．斯潘努斯（Svenja Spanuth）這兩位研究人員甚至認為，我們正看到「電腦這種通用技術的衰頽」。他們認為，運算的未來將分成兩類，一類是「快速」應用程式，使用強大的訂製晶片；另一類是「慢速」應用程式，使用升級漸緩的[11]通用晶片。

不可否認的是，身為現代運算主力的微處理器，有一部分正被特定用途的晶片所取代。目前還不確定的是，這會不會是一個問題。輝達的GPU不像英特爾的微處理器那樣有通用功能，因為它們是專為圖形以及愈來愈多的AI所設計的。然而，輝達與其他為AI設計最適晶片的新創公司，大幅降低了AI的實現成本，使AI因此變得更普及。如今的AI比十年前所想像的更「通用」，主要也是歸功於更強大的新晶片。

亞馬遜、Google等大型科技公司最近紛紛自行設計晶片，這個趨勢代表近幾十年來的另一個變化。亞馬遜與Google跨入晶片設計事業，是為了幫那些驅動其雲端運算的伺服器提升效率。任何人都可以付費連上Google雲端的TPU晶片。悲觀者認為，運算就是從這裡開始分成「慢速」與「快速」。不過，令人驚訝的是，幾乎任何人都可以藉由購買輝達的晶片或租用連上AI優化的雲端，輕易地使用「快速」應用程式。

此外，組合不同類型的晶片[12]比以往更容易了。過去，一台裝置通常只有一個處理器晶片，現在可能有多個處理器，其中一些專注於一般運作，另一些是針對相機等特定功能優化。現在之所以能做到這樣，是因為新的封裝技術使高效連接晶片變得更容易，公司可以隨著處理要求或成本考量的變化，輕易地把某些晶片嵌入或取出裝置。大型晶片公司現在更注重晶片的運行系統。因此，我們是否快達到摩爾最初定義的摩爾定律極限（每個晶片的電晶體數量呈指數成長）並不是重點。重點在於，我們以划算的成本所生產的晶片，是否已經達到運算力的極限。目前有成千上萬的工程師及上百億

美元的資金是押注在「否」。

早在1958年12月，也就是張忠謀、海格底、沃德、萊斯羅普、基爾比都聚集在德儀的那年，寒冷的華盛頓特區舉行了一場電子大會。張忠謀、摩爾、諾伊斯都出席了那場會議，他們一起出門喝啤酒，並在那天將結束前的幾小時，漫步回旅館。那時他們都很年輕，興奮地在雪地中唱歌。街上的路人不可能料到這三人將會是未來的科技巨擘。然而，他們不僅在數十億個晶圓上留下了持久的印記，也在我們的生活中留下了持久的印記。他們發明的晶片及建立的產業提供了隱藏的電路，不僅建構了我們的歷史，[13]

也將塑造我們的未來。

謝辭

製造先進的晶片，涉及數百道工藝步驟及橫跨多國的供應鏈。寫這本書的複雜程度，只比製作晶片略低一點。我非常感謝許多國家的許多人在這個過程中給予我的協助。

我想感謝華盛頓特區國會圖書館的圖書管理員與檔案管理員，謝謝他們在新冠疫情的限制下提供檔案資料；感謝南美以美大學、史丹佛大學、胡佛研究院、俄羅斯科學院的檔案館、台灣的中央研究院。

有機會得以採訪業界、學術界、政府的半導體專家上百次，我也同樣感謝。數十位採訪對象為了暢所欲言而要求在書中不具名。我還是想公開感謝以下人士分享見解，或協助安排採訪：Bob Adams、Richard Anderson、Susie ARMstrong、Jeff Arnold、David Attwood、Vivek Bakshi、Jon Bathgate、Peter Bealo、Doug Bettinger、Michael Bruck、Ralph Calvin、Gordon Campbell、Walter Cardwell、John Carruthers、Rick Cassidy、Anand Chandrasekher、Morris Chang、Shang-yi Chiang、Bryan Clark、Lynn Conway、Barry Couture、Andrea Cuomo、Aart de Geus、Seth Davis、Anirudh Devgan、Steve Director、Greg Dunn、Mark Durcan、John East、Kenneth Flamm、Igor Fomenkov、Gene Frantz、Adi Fuchs、Mike Geselowitz、Lance Glasser、Jay Goldberg、Peter Gordon、John Gowdy、Doug Grouse、Chuck Gwyn、Rene Haas、Wesley Hallman、David Hanke、Bill Heye、Chris Hill、David Hodges、Sander Hofman、Tristan Holtam、Eric Hosler、Gene Irisari、Nina Kao、John Kibarian、Valery Kotkin、Michael Kramer、Lev Lapkis、Steve Leibiger、Chris Mack、Chris Malachowsky、Dave Markle、Christopher McGuire、Marshall McMurran、Carver Mead、Bruno Murari、Bob Nease、Daniel Nenni、Jim Neroda、Ron Norris、Ted Odell、Sergei Osokin、Ward

Parkison、Jim Partridge、Malcolm Penn、William Perry、Pasquale Pistorio、Mary Anne Potter、Stacy Rasgon、Griff Resor、Wally Rhines、Dave Robertson、Steve Roemerman、Aldo Romano、Jeanne Roussel、Rob Rutenbar、Zain Saidin、Alberto Sangiovanni-Vincentelli、Robin Saxby、Brian Shirley、Peter Simone、Marko Slusarczuk、Randy Steck、Sergey Sudjin、Will Swope、John Taylor、Bill Tobey、Roger Van Art、Dick Van Atta、Gil Varnell、Michael von Borstel、Stephen Welby、Lloyd Whitman、Pat Windham、Alan Wolff、Stefan Wurm、Tony Yen、Ross Young、Victor Zhirnov、Annie Zhou。當然，本書做出的任何結論皆與他們無涉。

SEMI的總裁兼執行長Ajit Manocha為我提供了一套非常實用的簡介。半導體協會的John Neuffer、Jimmy Goodrich、Meghan Biery幫我瞭解他們對產業的觀點。業界資深人士Terry Daly特別撥冗指導我，我感激不盡。麻省理工學院林肯實驗室（Lincoln Labs）的Bob Loynd與Craig Keast好心帶我參觀了他們的微電子設備。此外，業界一位不願具名的技術評論專家指導我FinFET、低介電係數（High-k）材料、許多半導體基礎科學的細節，讓我受惠良多。

我與Danny Crichton及Jordan Schneider的多次有趣對談，促使我思考晶片與政治的交集。Jordan與Dong Yan讀了這本書的手稿，幫我加強了論點。Kevin Xu及他那份不可或缺的電子報，提供了一些張忠謀的重要軼事。多虧了這些資料的輔助，不然我可能就錯了。我與Sahil Mahtani、Philip Saunders和他們的團隊做了多次討論，那些討論讓我對中國面臨的晶片挑戰，看法更加明晰。

這份研究的部分內容，曾在耶魯大學的國際安全研究（International Security Studies）上發表，感謝Paul Kennedy與Arne Westad給我這個機會。我也因為有機會在海軍戰爭學院（Naval War College）發表初步研究而受惠良多，感謝Rebecca Lissner的邀請。此

外，胡佛研究院的歷史研討會及美國企業研究院（American Enterprise Institute）為棘手的問題提供了討論會，讓我精進了論點。

這本書大量援引矽谷起源及電算歷史的既有研究與新聞報導。許多學者與記者從不同的角度探索過這個議題，我從他們發表的研究中學到很多，也把本書引用的相關研究收錄在註釋中。我要特別感謝Leslie Berlin、Geoffrey Cain、Doug Fuller、Slava Gerovitch、Paul Gillespie、Philip Hanson、James Larson、David Laws、wenyee Lee、Willy Shih、Denis Fred Simon、Paul Snell、David Stumpf、David Talbot、Zachary Wasserman、Debby Wu與我分享他們的研究及專業知識。George Leopold一直是當代晶片與電子業的傑出導師。在這項研究的早期階段，Jose Moura大方地為我引薦他的同事。Murray Scott經常為我提供靈感與鼓勵。

我感謝 Danny Gottfried、Jacob Clemente、Gertie Robinson、Ben Cooper、Claus Soong、Wei-Ting Chen、Mindy Tu、Freddy Lin、Will Baumgartner、Soyoung Oh、Miina Matsuyama、Matyas Kisiday、Zoe Huang、Chihiro Aita、Sara Ashbaugh 幫忙收集及翻譯資料。Ashley Theis在各方面都幫了大忙。感謝史密斯理查森基金會（Smith Richardson Foundation）與史隆基金會的支持，促成這項研究。

我在弗萊徹學院（Fletcher School）的同事與學生為本書的許多概念提供意見，尤其感謝Dan Drezner於2019年舉行的「武器化獨立」研討會。感謝外交政策研究院（Foreign Policy Research Institute）的Rollie Flynn、Maia Otarashvili、Aaron Stein，從這項研究的最早階段就給予支持。我為手稿做最後修潤時，Kori Schake、Dany Pletka、Hal Brands幫忙把美國企業研究院（American Enterprise Institute）變成了知性的家園。感謝地緣政治顧問公司綠罩（Greenmantle）的同事，他們為思考技術、金融、總體經濟、政治的交集，提供了一個令人振奮的環境。感謝Niall Ferguson從很早就對這個專案感興趣；感謝Pierpaolo Barbieri為我做的一系列介紹；感謝Alice Han幫我瞭解中國的技術政策；感謝Stephanie Petrella在這項案子初期的明確指教。

與Rick Horgan及Scribner出版公司合作是我的榮幸。要不是Toby Mundy早期對這本書有信心，我不可能動筆。謝謝Jon Hillman一開始的引薦，促成這本書的出版。

最後，也是最重要的，家人在這個專案執行期間始終支持我。我的父母嚴格地檢閱了每一章的內容，Lucy與Vlad一直是最好的保姆。Liya、Anton、Evie忍受了這本書打亂了他們的早晨、夜晚、週末、假期、育兒假。我想把這本書獻給他們。

註釋

作者序

1 但我認為它們不會回來了：Cheng Ting-Fan, “TSMC Founder Morris Chang Says Globalization Almost Dead,” Nikkei Asia, Dec 7, 2022. https://asia.nikkei.com/Spotlight/Most-read-in-2022/TSMC-founder-Morris-Chang-says-globalization-almost-dead

2 3奈米製程的晶圓廠：Steve Holland and Jane Lanhee Lee, “TSMC Triples Arizona Chip Plant Investment,” Reuters Dec 7, 2022, https://www.reuters.com/technology/biden-visit-taiwans-tsmc-chip-plant-arizona-hail-supply-chain-fixes-2022-12-06/

3 並不是一直那麼振奮：“Building Fabs in Arizona ‘Old Dream Revived,’” Focus Taiwan, Dec 7, 2022, https://focustaiwan.tw/business/202212070024

4 這個決定是由現任董事長做的：Podcast with Morris Chang, Brookings Institute, April 14, 2022, https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2022/04/Vying-for-Talent-Morris-Chang-20220414.pdf

5 美國要擔心的，不單只是晶片而已：Interview with Ron Norris, 2021; Mike Rogoway, “TSMC’s Morris Chang Explains Wafertech’s Failure,” Oregon Live, April 22, 2022, https://www.oregonlive.com/silicon-forest/2022/04/tsmcs-morris-chang-explains-wafertechs-failure-in-camas-calls-push-for-us-chip-revival-an-exercise-in-futility.html

6 高超音速飛彈：Demetri Sevastopoulo, “China tests new space capability,” Financial Times, Oct. 16, 2021, https://www.ft.com/content/ba0a3cde-719b-4040-93cb-a486e1f843fb

7 註定會失敗：“Doomed to fail”: Kathrin Hille and Demetri Sevastopoulo, “TSMC: The Taiwanese Chipmaker Caught up in the Tech Cold War,” Financial Times, Oct 24, 2022, https://www.ft.com/content/bae9756a-3bce-4595-b6c9-8082fd735aa0

8 台積電從2013年起開始生產這種晶片：https://www.tsmc.com/english/dedicatedFoundry/technology/logic/l_16_12nm

9 受到衝擊的人數更多：Liza Lin and Karen Hao, “American Executives in Limbo at Chinese Chip Companies after U.S. Ban,” Wall Street Journal, Oct 16, 2022, https://www.wsj.com/articles/american-executives-in-limbo-at-chinese-chip-companies-after-u-s-ban-11665912757?mod=article_inline

前言

1 印太地區動向資料：“USS Mustin Transits the Taiwan Strait,” *Navy Press Releases*, August 19, 2020, https://www.navy.mil/Press-Office/Press-Releases/display-pressreleases/Article/2317449/uss-mustin-transits-the-taiwan-strait/#images-3; Sam LaGrone, “Destroyer USS Mustin Transits Taiwan Strait Following Operations with Japanese Warship,” *USNI News*, August 18, 2020, https://news.usni.org/2020/08/18/destroyer-uss-mustin-transits-taiwan-strait-following-operations-with-japanese-warship.

2 進行演練：“China Says Latest US Navy Sailing Near Taiwan ‘Extremely Dangerous,’” *Straits Times*, August 20, 2020, https://www.straitstimes.com/asia/east-asia/china-says-latest-us-navy-sailing-near-taiwan-extremely-dangerous; Liu Xuanzun, “PLA Holds Concentrated Military Drills to Deter Taiwan Secessionists, US,” *Global Times*, August 23, 2020, https://www.globaltimes.cn/page/202008/1198593.shtml.

3 晶片鎖喉（chip choke）策略：「鎖喉」這個詞是由Murray Scott首創，他的《Zen on Tech》電子報影響了我對半導體地緣政治的看法。

4 四分之一的收入來自手機：Antonio Varas, Raj Varadarajan, Jimmy Goodrich, and Falan Yinug, “Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era,” *Semiconductor Industry Association*, April 2021, exhibit 2, https://www.semiconductors.org/wp-content/up10ads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf; 按美元計價的話，手機占半導體銷售額的26%。

5 採購大部分的現成晶片：“iPhone 12 and 12 Pro Teardown,” *IFixit*, October 20, 2020, https://www.ifixit.com/Teardown/iPhone+12+and+12+Pro+Teardown/137669.

6 人類歷史上最昂貴的工廠：“A Look Inside the Factory Around Which the Modern World Turns,” *Economist*, December 21, 2019.

7 118億個微小電晶體：Angelique Chatman, “Apple iPhone 12 Has Reached 100 Million Sales, Analyst Says,” CNET, June 30, 2021; Omar Sohail, “Apple A14 Bionic Gets Highlighted with 11.8 Billion Transistors,” *WCCFTech*, September 15, 2020.

8 不是 118 億個，而是 4 個：Isy Haas, Jay Last, Lionel Kattner, and Bob Norman moderated by David Laws, “Oral History of Panel on the Development and Promotion of Fairchild Micrologic Integrated Circuits,” Computer History Museum, October 6, 2007, https://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2013/05/102658200-05-01-acc.pdf; interview with David Laws, 2022.

9 每個位元約2美分：Gordon E. Moore, “Cramming More Components onto Integrated Circuits,” *Electronics* 38, No. 8 (April 19, 1965), https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/05/moores-law-electronics.pdf; Intel 1103 data from “Memory Lane,” *Nature Electronics* 1 (June 13, 2018), https://www.nature.com/articles/s41928-018-0098-9.

10 三分之一是來自台灣製造的晶片：根據半導體協會的資料，2019年37%的邏輯晶片在台灣生產; Varas et al., “Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era.”

11 都是由台積電生產：Varas et al., “Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era,” p. 35.

12 無法取得需要的半導體：Mark Fulthorpe and Phil Amsrud, “Global Light Vehicle Production Impacts Now Expected Well into 2022,” *IHS Market*, August 19, 2021, https://ihsmarkit.com/research-analysis/global-light-vehicle-production-impacts-now-

expected-well-into.html.

13 44%的記憶晶片：Varas et al., “Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era.”

14 最高機密的安全許可：訪問張忠謀, 2022.

第一章　從鋼到矽

1 勤奮好學的年輕工程師：Details on Morita's life are from Akio Morita, *Made in Japan: Akio Morita and Sony* (HarperCollins, 1987).

2 擊即將到來：Morris C. M. Chang, *The Autobiography of Morris C. M. Chang* (Commonwealth Publishing, 2018). Thanks to Mindy Tu for help with translation.

3 那場席捲亞洲的鋼鐵颱風：Andrew Grove, *Swimming Across* (Warner Books, 2002), p. 52.

4 切腹自殺：John Nathan, *Sony: A Private Life* (Houghton Mifflin, 2001), p. 16.

5 打橋牌：Chang, *Autobiography of Morris C. M. Chang*.

6 追熱飛彈：Morita, *Made in Japan*, p. 1.

7 製成表格：David Alan Grier, *When Computers Were Human* (Princeton University Press, 2005), ch. 13; Mathematical Tables Project, *Table of Reciprocals of the Integers from 100,000 through 200,009* (Columbia University Press, 1943).

8 落在離目標30米的範圍內：Robert P. Patterson, *The United States Strategic Bombing Survey: Summary Report* (United States Department of War, 1945), p. 15, in The United States Strategic Bombing Surveys (Air University Press, 1987), https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/B_0020_SPANGRUD_STRATEGIC_BOMBING_SURVEYS.pdf.

9 「除蟲」（debug）：T. R. Reid, *The Chip* (Random House, 2001), p. 11.

10 1 萬 8 千根真空管：Derek Cheung and Eric Brach, *Conquering the Electron: The Geniuses, Visionaries, Egomaniacs, and Scoundrels Who Built Our Electronic Age* (Roman & Littlefield, 2011), p. 173.

第二章　開關

1 一種叫「半導體」的東西：Joel Shurkin, Broken Genius: *The Rise and Fall of William Shockley, Creator of the Electronic Age* (Macmillan, 2006)是對蕭克利最好的描述，亦參見Michael Riordan and Lillian Hoddeson, *Crystal Fire: The Birth of the Information Age* (Norton, 1997).

2 把原子結合起來：Gino Del Guercio and Ira Flatow, “Transistorized!” PBS, 1999, https://www.pbs.org/Oansistor/tv/script1.html.

3 「固態開關」理論：Riordan and Hoddeson, *Crystal Fire*, esp. pp. 112-114.

4 半導體材料理論：這裡對電晶體的描述大量引用Riordan and Hoddeson, *Crystal Fire*, and Cheung and Brach, *Conquering the Electron*.

5 自己設計出了一種開關：Cheung and Brach, *Conquering the Electron*, pp. 206-207.

6 執行運算任務：Riordan and Hoddeson, *Crystal Fire*, p. 165; “SCIENCE 1948: Little Brain Cell,” *Time*, 1948, http://content.time.com/time/subscriber/article/0,33009,952095,00.html.

第三章　諾伊斯、基爾比，以及積體電路

1 也能登上《華爾街日報》：Cheung and Brach, *Conquering the Electron*, p. 228.

2 授權給其他公司：同前, p. 214.

3 電晶體系統的電路所造成的複雜性：訪問Ralph Calvin, 2021; Jay W. Lathrop, an oral history conducted in 1996 by David Morton, IEEE History Center, Piscataway, NJ, USA.

4 在貝爾實驗室以外使用電晶體的人之一：Jack Kilby interview by Arthur L. Norberg, Charles Babbage Institute, June 21, 1984, pp. 11-19, https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/r107410/oh074jk.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

5 生產聲納設備：Caleb III Pirtle, Engineering the World: Stories from the First 75 Years of Texas Instruments (Southern Methodist University Press, 2005), p. 29.

6 組裝多個元件：David Brock and David Laws, "The Early History of Microcircuitry," *IEEE Annals of the History of Computing* 34, No. 1 (January 2012), https://ieeexplore.ieee.org/document/6109206; T. R. Reid, The Chip (Random House, 2001).

7 快捷半導體（Fairchild Semiconductor）：Shurkin, *Broken Genius*, p. 173; "Gordon Moore," PBS, 1999, https://www.pbs.org/transistor/album1/moore/index.html; 關於快捷半導體的其他重要書籍，包括Arnold Thackray, David C. Brock, and Rachel Jones, *Moore's Law: The Life of Gordon Moore, Silicon Valley's Quiet Revolutionary* (Basic, 2015), and Leslie Berlin, *The Man Behind the Microchip: Robert Noyce and the Invention of Silicon Valley* (Oxford University Press, 2005).

8 並不曉得基爾比的存在："1959: Practical Monolithic Integrated Circuit Concept Patented," Computer History Museum, https://www.computerhistory.org/siliconengine/practical-monolithic-integrated-circuit-concept-patented/; Christophe Lecuyer and David Brock, *Makers of the Microchip* (MIT Press, 2010); Robert N. Noyce, Semiconductor Device-and-Lead Structure, USA, 2981877, filed Jul 30, 1959 and issued Apr 25, 1961, https://patentimages.storage.googleapis.com/e1/73/1e/7404cd5ad6325c/US2981877.pdf; Michael Riordan, "The Silicon Dioxide Solution," *IEEE Spectrum*, December 1, 2007, https://spectrum.ieee.org/the-silicon-dioxide-solution; Berlin, *The Man Behind the Microchip*, pp. 53-81.

9 製造成本是50倍：Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 112.

第四章　登月

1 「蘇聯的『月亮』繞著地球轉」："Satellite Reported Seen over S.F.," *San Francisco Chronicle*, October 5, 1957, p. 1.

2 信任危機：Robert Divine, *The Sputnik Challenge* (Oxford, 1993). 關於冷戰對美國科學的影響，我的看法是受到底下作品的影響：Margaret O'Mara, *Cities of Knowledge: Cold War Science and the Search for the Next Silicon Valley* (Princeton University Press, 2015); Audra J. Wolfe, *Competing with the Soviets: Science, Technology, and the State in Cold War America* (Johns Hopkins University Press, 2013); and Steve Blank, "Secret History of Silicon Valley," Lecture at the Computer History Museum, November 20, 2008, https://www.youtube.com/watch?v=ZTC_RxWN_xo.

3 預計產生的電力還多：Eldon C. Hall, *Journey to the Moon: The History of the Apollo*

Guidance Computer (American Institute of Aeronautics, 1996), pp. xxi, 2; Paul Cerruzi, “The Other Side of Moore's Law: The Apollo Guidance Computer, the Integrated Circuit, and the Microelectronics Revolution, 1962-1975,” in R. Lanius and H. McCurdy, *NASA Spaceflight* (Palgrave Macmillan, 2018).

4 看那東西是不是真的：Hall, *Journey to the Moon*, p. 80.

5 耗電量也比較少：Hall, *Journey to the Moon*, pp. xxi, 2, 4, 19, 80, 82; Tom Wolfe, “The Tinkerings of Robert Noyce,” Esquire, December 1983.

6 2100萬美元：Robert N. Noyce, “Integrated Circuits in Military Equipment,” *Institute of Electrical and Electronics Engineers Spectrum*, June 1964; Christophe Lecuyer, “Silicon for Industry: Component Design, Mass Production, and the Move to Commercial Markets at Fairchild Semiconductor, 1960-1967,” *History and Technology* 16 (1999): 183; Michael Riordan, “The Silicon Dioxide Solution,” *IEEE Spectrum*, December 1, 2007, https://spectrum.ieee.org/the-silicon-dioxide-solution.

7 已降至15美元：Hall, *Journey to the Moon*, p. 83.

8 向軍方銷售電子系統：Charles Phipps, “The Early History of ICs at Texas Instruments: A Personal View,” *IEEE Annals of the History of Computing* 34, No. 1 (January 2012): 37-47.

9 每件電子產品中：Norman J. Asher and Leland D. Strom, “The Role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits,” *Institute for Defense Analyses*, May 1, 1977, p. 54.

10 彷彿能預測一切：訪問Bill Heye, 2021; 訪問張忠謀, 2022.

11 義勇兵二型導彈（Minuteman II missile）：Patrick E. Haggerty, “Strategies, Tactics, and Research,” *Research Management* 9, No. 3 (May 1966): 152-153.

12 輸入導引電腦：Marshall William McMurran, *Achieving Accuracy: A Legacy of Computers and Missiles* (Xlibris US, 2008), p. 281.

13 當時真的選擇不多：訪問 Bob Nease、Marshall McMurran、Steve Roemerman, 2021; David K. Stumpf, *Minuteman: A Technical History of the Missile That Defined American Nuclear Warfare* (University of Arkansas Press, 2020), p. 214; Patrick E. Haggerty, “Strategies, Tactics, and Research,” Research Management 9, No. 3 (May 1966): 152-153; 亦參見 Bob Nease and D. C. Hendrickson, *A Brief History of Minuteman Guidance and Control* (Rockwell Autonetics Defense Electronics, 1995); McMurran, *Achieving Accuracy*, ch. 12. 感謝 David Stumpf與我分享了Nease與Henderson的論文。

14 民兵導彈計畫：Asher and Strom, “The Role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits,” p. 83; Hall, Journey to the Moon, p. 19; “Minuteman Is Top Semiconductor User,” *Aviation Week & Space Technology*, July 26, 1965, p. 83.

第五章　迫擊炮與量產

1 正式到德州儀器上班：Correspondence with Jay Lathrop, 2021; 訪問 Walter Cardwell, 2021; 訪問 John Gowdy, 2021; Jay Lathrop and James R. Nall, Semiconductor Construction, USA, 2890395A, filed October 31, 1957, and issued June 9, 1959, https://patentimages.storage.googleapis.com/e2/4d/4b/8d90caa48db31b/US2890395.pdf; Jay

Lathrop, "The Diamond Ordinance Fuze Laboratory's Photolithographic Approach to Microcircuits," *IEEE Annals of the History of Computing* 35, No. 1 (2013): 48-55.

2 檢查工程師的實驗：Correspondence with Jay Lathrop, 2021; 訪問Mary Anne Potter, 2021.

3 全天候的測試：訪問 Mary Anne Potter, 2021; Mary Anne Potter, "Oral History," *Transistor Museum*, September 2001, http://www.semiconductormuseum.com/Transistors/TexasInstruments/OralHistories/Potter/Potter_Page2.htm.

4 加入德州儀器：Chang, *Autobiography of Morris Chang*; "Stanford Engineering Hero Lecture: Morris Chang in Conversation with President John L. Hennessy," Stanford Online, YouTube Video, April 25, 2014, https://www.youtube.com/watch?v=wEh3ZgbvBrE.

5 而必須報廢：Oral History of Morris Chang, interviewed by Alan Patterson, Computer History Museum, August 24, 2007; 訪問張忠謀, 2022.

6 那不算待過德儀：訪問Bill Heye與Gil Varnell, 2021.

7 良率大幅提升到25%：Oral History of Morris Chang, interviewed by Alan Patterson, Computer History Museum, August 24, 2007.

8 到達拉斯學習他的方法：Tekla S. Perry, "Morris Chang: Foundry Father," Institute of Electrical and Electronics Engineers Spectrum, April 19, 2011, https://spectrum.ieee.org/at-work/tech-careers/morris-chang-foundry-father.

9 公司就不用開了：David Laws, "A Company of Legend: The Legacy of Fairchild Semiconductor," *IEEE Annals of the History of Computing* 32, No. 1 (January 2010): 64.

10 我們倆一拍即合：Charles E. Sporck and Richard Molay, *Spinoff: A Personal History of the Industry That Changed the World* (Saranac Lake Publishing, 2001), pp. 71-72; Christophe Lecuyer, "Silicon for Industry": 45.

第六章　「我——要——去——賺——大——錢」

1 從魚雷到遙測系統：Asher and Strom, "The Role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits," p. 74.

2 95%以上的積體電路：Robert Noyce, "Integrated Circuits in Military Equipment," *IEEE Spectrum* (June 1964): 71.

3 他們通常也不是職業軍官：Thomas Heinrich, "Cold War Armory: Military Contracting in Silicon Valley," *Enterprise & Society* 3, No. 2 (June 2002): 269; Lecuyer, "Silicon for Industry": 186.

4 Zenith的助聽器：Reid, The Chip, p. 151.

5 要冒險才算投資：Dirk Hanson, *The New Alchemists: Silicon Valley and the Microelectronics Revolution* (Avon Books, 1983), p. 93.

6 洛克希德馬丁公司遙遙領先：US Government Armed Services Technical Information Agency, *Survey of Microminiaturization of Electronic Equipment*, P. V. Horton and T. D. Smith, AD269 300, Arlington, VA: Air Force Ballistic Missile Division Air Research Development Command, United States Air Force, 1961, pp. 23, 37, 39, https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD0269300.

7 摩爾定律：Moore, "Cramming More Computers onto Integrated Circuits."

8 就是好生意：Asher and Strom, “The Role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits,” p. 73; Herbert Kleiman, *The Integrated Circuit: A Case Study of Product Innovation in the Electronics Industry* (George Washington University Press, 1966), p. 57.

9 更多的客戶來試用晶片：Lecuyer, “Silicon for Industry”: esp. 189, 194, 222; Kleiman, *The Integrated Circuit, p. 212; Ernest Braun and Stuart Macdonald, Revolution in Miniature: The History and Impact of Semiconductor Electronics* (Cambridge University Press, 1982), p. 114.

10 市占率是 80%：Asher and Strom, “The Role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits,” p. 64; Berlin, The Man Behind the Microchip, p. 138; Lecuyer, “Silicon for Industry”: 180, 188.

11 一樣重大的創新：“Oral History of Charlie Sporck,” Computer History Museum, YouTube Video, March 2, 2017, 1:11:48, https://www.youtube.com/watch?v=duMUvoKP-pk; Asher and Strom, “The Role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits,” p. 73; Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 138.

12 「悄然施行的社會主義」：Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 120.

13 「我——要——去——賺——大——錢。」：Michael Malone, *The Intel Trinity* (Michael Collins, 2014), p. 31.

第七章　蘇聯矽谷

1 來到了帕羅奧圖：Y. Nosov, “*Tranzistor—Nashe Vse. K Istorii Velikogo Otkrytiya*,” Elektronika, 2008, https://www.electronics.ru/journal/article/363; A. F. Trutko, IREX Papers, Library of Congress, Washington, D.C.; for “Crothers Memorial Hall,” see the Stanford 1960 Yearbook.

2 領先二到四年：CIA, “Production of Semiconductor Devices in the USSR,” CIA/RR, November 1959, 59-44.

3 更令人振奮的任務了：訪問Lev Lapkis、Valery Kotkin、Sergei Osokin、Sergey Sudjin, 2021; 關於蘇聯對美國出版品的研究：N. S. Simonov, *Nesostoyavshayasya Informatsionnaya Revolyutsiya* (Universitet Dmitriya Pozharskogo, 2013), pp. 206-207; “Automate the Boss' Office,” *Business Week*, April 1956, p. 59; A. A. Vasenkov, “*Nekotorye Sobytiya iz Istorii Mikroelekroniki*,” *Virtualnyi Kompyuternyi Muzei*, 2010, https://computer-museum.ru/books/vasenkov/vasenkov3-1.htm; B. Malashevich, “*Pervie Integralnie Skhemi*,” *Virtualnyi Kompyuternyi Muzei*, 2008, https://www.computer-museum.ru/histekb/integral_1.htm.

4 人造衛星的蹤影：訪問Lev Lapkis、Valery Kotkin、Sergey Sudjin.

5 電視可以做成菸盒大小：A. A. Shokin, *Ocherki Istorii Rossiiskoi Elektroniki*, v. 6 (Tehnosfera, 2014), p. 520.

6 俄羅斯的猶太人：在蘇聯，沙蘭特改名為 Philip Staros，巴爾改名為 Joseph Berg；關於他們的職務細節，我主要是援引 Steven T. Usdin, *Engineering Communism* (Yale University Press, 2005).

7 想出了他們的版本：Usdin, Engineering Communism, p. 175; Simonov, *Nesostoyavshayasya Informatsionnaya Revolyutsiya*, p. 212. 關於巴爾與沙蘭特的影響規模，俄羅斯的微電子專家對此有一些爭論。他們不是獨自創造出蘇聯的電腦業，但顯然扮演重要的角色。

8 赫魯雪夫抵達當地：Usdin, *Engineering Communism*, pp. 203-209.

9 這是我們的未來：Shokin, *Ocherki Istorii Rossiiskoi Elektroniki*, v. 6, pp. 522-523, 531.

第八章　「給我抄！」

1 給你們三個月的時間：Simonov, *Nesostoyavshayasya Informatsionnaya Revolyutsiya*, p. 210; see also A. A. Vasenkov, " *Nekotorye Sobytiya iz Istorii Mikroelekroniki*," *Virtualnyi Kompyuternyi Muzei*, 2010, https://computer-museum.ru/books/vasenkov/vasenkov3-1.htm; Boris Malin file, IREX Papers, Library of Congress, Washington, D.C; Shokin, *Ocherki Istorii Rossiiskoi Elektroniki* v. 6, p. 543.

2 在莫斯科學不到的東西：B. Malashevich, "*Pervie Integralnie Shemi*," *Virtualnyi Kompyuternyi Muzei*, 2008, https://www.computer-museum.ru/histekb/integral_1.htm; Simonov, *Nesostoyavshayasya Informatsionnaya Revolyutsiya*, p. 65; Oral History of Yury R. Nosov, interviewed by Rosemary Remackle, Computer History Museum, May 17, 2012, pp. 22-23.

3 都處於落後狀態：Ronald Amann et al., The Technological Level of Soviet Industry (Yale University Press, 1977).

4 更精準地抄襲美國的設計：A. A. Vasenkov, "*Nekotorye Sobytiya iz Istorii Mikroelekroniki*," *Virtualnyi Kompyuternyi Muzei*, 2010, https://computer-museum.ru/books/vasenkov/vasenkov3-1.htm; B. V. Malin, "*Sozdanie Pervoi Otechestvennoi Mikroshemy*,"*Virtualnyi Kompyuternyi Muzei*, 2000, https://www.computer-museum.ru/technlgy/su_chip.htm.

5 談論他的發明：訪問Sergei Osokin, 2021.

第九章　電晶體推銷員

1 跟「電晶體推銷員」沒兩樣：這篇關於盛田昭夫訪問的報導，取自Miina Matsuyama翻譯的日文資訊；參見Nick Kapur, *Japan at the Crossroads After Anpo* (Harvard University Press, 2018), p. 84; Shiota Ushio, Tokyo Wa Moetaka (Kodansha, 1988); Shintaro Ikeda, "The Ikeda Administration's Diplomacy Toward Europe and the 'Three-Pillar' Theory," *Hiroshima Journal of International Studies* 13 (2007); Kawamura Kazuhiko, *Recollections of Postwar Japan*, S25 (History Study Group, 2020).

2 是更好的風險：Office of the Historian, U.S. Department of State, "National Security Council Report," in David W. Mabon, ed., *Foreign Relations of the United States*, 1955-1957, *Japan, Volume XXIII, Part 1* (United States Government Printing Office, 1991), https://history.state.gov/historicaldocuments/frus1955-57v23p1/d28; Office of the Historian, U.S. Department of State, "No. 588 Note by the Executive Secretary (Lay) to the National Security Council," in David W. Mabon and Harriet D. Schwar, eds., *Foreign Relations of the United States, 1952-1954, China and Japan, Volume XIV, Part 2* (United States Government Printing Office, 1985), https://history.state.gov/historicaldocuments/frus1952-54v14p2/d588.

3 以科技與科學強國的形式重生：Office of the Historian, U.S. Department of State, "National Security Council Report."

4 一個有趣的消息：Bob Johnstone, *We Were Burning: Japanese Entrepreneurs and the Forging of the Electronic Age* (Basic Books, 1999), p. 16; Makoto Kikuchi, an oral history conducted in 1994 by William Aspray, IEEE History Center, Piscataway, NJ, USA.

5 心跳就會開始加快：Makoto Kikuchi, "How a Physicist Fell in Love with Silicon in the

Early Years of Japanese R&D," in H. R. Huff, H. Tsuya, and U. Gosele, eds., *Silicon Materials Science and Technology*, v. 1 (The Electrochemical Society, Inc., 1998), p. 126; Makoto Kikuchi, an oral history conducted in 1994 by William Aspray, IEEE History Center, Piscataway, NJ, USA; Johnstone, *We Were Burning*, p. 15.

6 沒見過那麼多閃光燈：Vicki Daitch and Lillian Hoddeson, *True Genius: The Life and Science of John Bardeen: The Only Winner of Two Nobel Prizes in Physics* (Joseph Henry Press, 2002), pp. 173-174.

7 那看起來很「神奇」：Nathan, *Sony*, p. 13; Morita, *Made in Japan*, pp. 70-71.

8 似乎什麼都有：Morita, *Made in Japan*, p. 1.

9 「不可原諒的荒謬行為」：Hyungsub Choi, "Manufacturing Knowledge in Transit: Technical Practice, Organizational Change, and the Rise of the Semiconductor Industry in the United States and Japan, 1948-1960," PhD dissertation, Johns Hopkins University, 2007, p. 113; Johnstone, *We Were Burning*, p. xv.

10 但我們知道：Simon Christopher Partner, "Manufacturing Desire: The Japanese Electrical Goods Industry in the 1950s," PhD dissertation, Columbia University, 1997, p. 296; Andrew Pollack, "Akio Morita, Co-Founder of Sony and Japanese Business Leader, Dies at 78," *New York Times*, October 4, 1999.

11 電晶體收音機：Pirtle, *Engineering the World*, pp. 73-74; Robert J. Simcoe, "The Revolution in Your Pocket," *American Heritage* 20, No. 2 (Fall 2004).

12 給了快捷：John E. Tilton, *International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors* (Brookings Institution, 1971), pp. 57, 141, 148; "Leo Esaki Facts," The Nobel Foundation, https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1973/esaki/facts/.

13 消費電子領域的索尼：Johnstone, We Were Burning, ch. 1 and pp. 40-41.

14 激增到約二十年後的600億美元：Kenneth Flamm, "Internationalization in the Semiconductor Industry," in Joseph Grunwald and Kenneth Flamm, eds., *The Global Factory: Foreign Assembly in International Trade* (Brookings Institution, 1985), p. 70; Bundo Yamada, "Internationalization Strategies of Japanese Electronics Companies: Implications for Asian Newly Industrializing Economies (NIEs)," OECD Development Centre, October 1990, https://www.oecd.org/japan/33750058.pdf.

15 他們的淨利：Choi, *Manufacturing Knowledge in Transit*, pp. 191-192.

16 尋求經濟支持："Marketing and Export: Status of Electronics Business," *Electronics*, May 27, 1960, p. 95.

17 製造電晶體收音機的：Henry Kissinger, "Memorandum of Conversation, Washington, April 10, 1973, 11:13 a.m.-12:18 p.m.," in Bradley Lynn Coleman, David Goldman, and David Nickles, eds., *Foreign Relations of the United States, 1969-1976, Volume E-12, Documents on East and Southeast Asia*, 1973-1976 (Government Printing Office, 2010), https://history.state.gov/historicaldocuments/frus1969-76ve12/d293.

18 幫你們打通關：訪問 Bill Heye, 2021; 訪問張忠謀, 2022; J. Fred Bucy, *Dodging Elephants: The Autobiography of J. Fred Bucy* (Dog Ear Publishing, 2014), pp. 92-93.

19 國民所得翻倍的目標：Johnstone, *We Were Burning*, p. 364.

第十章　電晶體女孩

1 東方古老的樂趣上：Paul Daniels, *The Transistor Girls* (Stag, 1964).

2 非常注重效率：Eugene J. Flath interview by David C. Brock, Science History Institute, February 28, 2007.

3 管你們去死：Oral History of Charlie Sporck, Computer History Museum; Sporck and Molay, *Spinoff: A Personal History of the Industry That Changed the World*.

4 提高生產力：Andrew Pollack, “In the Trenches of the Chip Wars, a Struggle for Survival,” *New York Times*, July 2, 1989; Sporck and Molay, *Spinoff*, p. 63; Oral History of Charlie Sporck, Computer History Museum.

5 裝配線的工作：Glenna Matthew, *Silicon Valley, Women, and the California Dream: Gender, Class, and Opportunity in the Twentieth Century* (Stanford University Press, 2002), ch. 1-3.

6 也只能靠手工完成：Sporck and Molay, *Spinoff*, pp. 87-88.

7 斯波克很快就搭機去看了：Sporck and Molay, *Spinoff*, pp. 91-93; William F. Finan, *Matching Japan in Quality: How the Leading U.S. Semiconductor Firms Caught Up with the Best in Japan* (MIT Japan Program, 1993), p. 61; Julius Blank interview by David C. Brock, Science History Institute, March 20, 2006, p. 10; Oral History of Julius Blank, interviewed by Craig Addison, Computer History Museum, January 25, 2008.

8 願意忍受單調的工作：John Henderson, *The Globalisation of High Technology Production* (Routledge, 1989), p. 110; Sporck and Molay, Spinoff, p. 94; Harry Sello Oral History interview by Craig Addison, SEMI, April 2, 2004.

9 成本會貴得驚人：Sporck and Molay, *Spinoff*, p. 95; Oral History of Charlie Sporck, Computer History Museum.

10 南韓是 10 美分：William F. Finan, “The International Transfer of Semiconductor Technology Through U.S.-Based Firms,” NBER Working Paper no. 118, December 1975, pp. 61-62.

11 「幾乎是禁止」工會的：Craig Addison, Oral History Interview with Clements E. Pausa, June 17, 2004.

12 在東方從來沒有這種問題：Oral History of Charlie Sporck, Computer History Museum; 另參閱電腦歷史博物館（Computer History Museum）中有關工會、工資協商、國際勞工組織（International Labor Organization）規則的廣泛討論, “Fairchild Oral History Panel: Manufacturing and Support Services,” October 5, 2007.

第十一章　精準打擊

1 戰場上飄起的縷縷煙霧：訪問Bill Heye, 2021.

2 投下的炸彈還多：Samuel J. Cox, “H-017-2: Rolling Thunder—A Short Overview,” Naval History and Heritage Command, March 27, 2018, https://www.history.navy.mil/about-us/leadership/director/directors-corner/h-grams/h-gram-017/h-017-2.html#:~:text=These%20U.S.%20strikes%20dropped%20864%2C000,years%20of%20World%20War%20II.

3 竟然只有四例：Barry Watts, *Six Decades of Guided Munitions and Battle Networks: Progress*

and Prospects (Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2007), p. 133.

4 根本沒擊中目標：US Government Naval Air Systems Command, "Report of the Air-to-Air Missile System Capability Review July-November 1968," AD-A955-143, Naval History and Heritage Command, April 23, 2021, https://www.history.navy.mil/research/histories/naval-aviation-history/ault-report.html; Watts, *Six Decades of Guided Munitions*, p. 140.

5 基本上是不可能的：James E. Hickey, *Precision-Guided Munitions and Human Suffering in War* (Routledge, 2016), p. 98.

6 必要的組件：訪問 Steve Roemerman, 2021; Paul G. Gillespie, "Precision Guided Munitions: Constructing a Bomb More Potent Than the A-Bomb," PhD dissertation, Lehigh University, 2002.

7 常在訓練與戰場上使用：訪問Steve Roemerman, 2021.

8 像平價家庭轎車一樣的武器：訪問Steve Roemerman, 2021.

9 德儀能幫上忙嗎？"Obituary of Colonel Joseph Davis Jr.," Northwest Florida Daily News, August 24-26, 2014; Gillespie, "Precision Guided Munitions," pp. 117-118; Walter J. Boyne, "Breaking the Dragon's Jaw," Air Force Magazine, August 2011, pp. 58-60, https://www.airforcemag.com/PDF/MagazineArchive/Documents/2011/August%2020110811jaw.pdf. Vernon Loeb, "Bursts of Brilliance," *Washington Post*, December 15, 2002.

10 M117炸彈：Gillespie, "Precision Guided Munitions," p. 116.

11 精準摧毀的工具：同前, pp. 125, 172.

12 狂妄豪語：William Beecher, "Automated Warfare Is Foreseen by Westmoreland After Vietnam," *New York Times*, October 14, 1969. 然而，國防理論家已經意識到，精準打擊的武器將改變戰爭; 參見James F. Digby, *Precision-Guided Munitions: Capabilities and Consequences*, RAND Paper P-5257, June 1974, and *The Technology of Precision Guidance: Changing Weapon Priorities*, New Risks, New Opportunities, RAND Paper P-5537, November 1975.

第十二章　供應鏈布局

1 僅限於酒吧與舞女："Taiwan's Development of Semiconductors Was Not Smooth Sailing," tr. Claus Soong, *Storm Media*, June 5, 2019, https://www.storm.mg/article/1358975?mode=whole.000.

2 第一根真空管："Mark Shepherd Jr. Obituary," Dallas Morning News, February 6-8, 2009; Ashlee Vance, "Mark Shepherd, a Force in Electronics, Dies at 86," *New York Times*, February 9, 2009.

3 欺負落後國家的東西："Taiwan's Development of Semiconductors was not Smooth Sailing"; 訪問張忠謀, 2022.

4 經濟援助：David W. Chang, "U.S. Aid and Economic Progress in Taiwan," *Asian Survey* 5, No. 3 (March 1965): 156; Nick Cullather, "'Fuel for the Good Dragon': The United States and Industrial Policy in Taiwan, 1950-1960," *Diplomatic History* 20, No. 1 (Winter 1996): 1.

5 這項計畫的核心：Wolfgang Saxon, "Li Kwoh-ting, 91, of Taiwan Dies; Led Effort to Transform Economy," *New York Times*, June 2, 2001.

6 工資也會維持在低檔："Taiwan's Development of Semiconductors was not Smooth Sailing."

7 已突破10億個：L. Sophia Wang, *K.T. LI and the Taiwan Experience* (National Tsing Hua University Press, 2006), p. 216; "TI Taiwan Chronology," in Far East Briefing Book, Texas Instruments Papers, Southern Methodist University Library, October 18, 1989.

8 「吸收新加坡的失業」：Henry Kissinger, "Memorandum of Conversation, Washington, April 10, 1973, 11:13 a.m.-12:18 p.m.," in Bradley Lynn Coleman, David Goldman, and David Nickles, eds., *Foreign Relations of the United States, 1969-1976, Volume E-12, Documents on East and Southeast Asia, 1973-1976* (Government Printing Office, 2010), https://history.state.gov/historicaldocuments/frus1969-76ve12/d293; Linda Lim and Pang Eng Fong, *Trade, Employment and Industrialisation in Singapore* (International Labour Office, 1986), p. 156.

9 南韓、台灣與東南亞：Joseph Grunwald and Kenneth Flamm, *The Global Factory: Foreign Assembly in International Trade* (Brookings Institution Press, 1994), p. 100.

10 收入較高的工作：Kenneth Flamm, "Internationalization in the Semiconductor Industry," in Grunwald and Flamm, *The Global Factory*, p. 110; Lim and Pang Eng Fong, *Trade, Employment and Industrialisation in Singapore*, p. 156; *Hong Kong Annual Digest of Statistics* (Census and Statistics Department, 1984), table 3.12, https://www.censtatd.gov.hk/en/data/stat_report/product/B1010003/att/B10100031984AN84E0100.pdf; G. T. Harris and Tai Shzee Yew, "Unemployment Trends in Peninsular Malaysia During the 1970s," *ASEAN Economic Bulletin* 2, No. 2 (November 1985): 118–132.

11 繼續在台灣發展：*Meeting with Prime Minister Li, Taipei, September 23, 1977*, and *Reception/Buffett—Taipei. September 23, 1977. Mark Shepherd Remarks*, in Mark Shepherd Papers, Correspondence, Reports, Speeches, 1977, Southern Methodist University Library, folder 90-69; Associated Press, "Mark Shepherd Jr.; led Texas Instruments," Boston Globe, February 9, 2009.

第十三章　英特爾的改革者

1 創立自己的電子公司："Marge Scandling, "2 of Founders Leave Fairchild; Form Own Electronics Firm," *Palo Alto Times*, August 2, 1968.

2 這波爆炸性的成長：Lucien V. Auletta, Herbert J. Hallstead, and Denis J. Sullivan, "Ferrite Core Planes and Arrays: IBM's Manufacturing Evolution," *IEEE Transactions on Magnetics* 5, No. 4 (December 1969); John Markoff, "IBM's Robert H. Dennard and the Chip That Changed the World," IBM, November 7, 2019, https://www.ibm.com/blogs/think/2019/11/ibms-robert-h-dennard-and-the-chip-that-changed-the-world/.

3 來看半導體：Emma Neiman, "A Look at Stanford Computer Science, Part I: Past and Present," Stanford Daily, April 15, 2015; "Interview with Marcian E. Hoff, Jr., 1995 March 03," Stanford Libraries, March 3, 1995, https://exhibits.stanford.edu/silicongenesis/catalog/jj158jn5943.

4 比英特爾的更強大：Robert N. Noyce and Marcian E. Hoff, "A History of Microprocessor Development at Intel," *IEEE Micro* 1, No. 1 (February 1981); Ted Hoff and Stan Mazor interview by David Laws, Computer History Museum, September 20, 2006; "Ted Hoff: The Birth of the Microprocessor and Beyond," *Stanford Engineering*, November 2006.

5 掀起一場革命：Sarah Fallon, "The Secret History of the First Microprocessor," *Wired*,

December 23, 2020; Ken Shirriff, "The Surprising Story of the First Microprocessors," *IEEE Spectrum*, August 30, 2016.

6 這將改變世界：Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 205; Gordon Moore, "On Microprocessors," *IEEE*, 1976; Ross Knox Bassett, To the Digital Age (Johns Hopkins University Press, 2002), p. 281; Malone, *The Intel Trinity*, pp. 177-178; Gene Bylinsky, "How Intel Won Its Bet on Memory Chips," Fortune, November 1973; Fallon, "The Secret History of the First Microprocessor."

7 裝滿了Raytheon 2N706電晶體：訪問Carver Mead, 2021.

8 無窮的運算力：Carver Mead, "Computers That Put the Power Where It Belongs," *Engineering and Science* XXXVI, No. 4 (February 1972).

9 破壞學校的小伙子才不是：Gene Bylinsky, "How Intel Won Its Bet on Memory Chips."

第十四章　國防部的抵銷策略

1 軍事方面的頂尖專家：William Perry interview by Russell Riley, University of Virginia's The Miller Center, February 21, 2006; William J. Perry, *My Journey at the Nuclear Brink* (Stanford Security Studies, 2015), ch. 1-2.

2 購買晶片：訪問William Perry, 2021; Zachary Wasserman, "Inventing Startup Capitalism," PhD dissertation, Yale University, 2015.

3 機床廠工作：Andrew Krepinevich and Barry Watts, *The Last Warrior: Andrew Marshall and the Shaping of Modern American Defense Strategy* (Basic Books, 2015), pp. 4, 9, 95.

4 領先優勢：A. W. Marshall, "Long-Term Competition with the Soviets: A Framework for Strategic Analysis," Rand Corporation, R-862-PR, April 1972, https://www.rand.og/pubs/reEorts/R862.html.

5 500億美元的資金：Testimony of William Perry, Senate Committee on Armed Services, Department of Defense, Authorization for Appropriations for FY 79, Part 8: Research and Development, 96th United States Congress, 1979, pp. 5506-5937; Kenneth P. Werrell, *The Evolution of the Cruise Missile* (Air University Press, 1985), p. 180.

6 區分鯨魚與潛艇：Richard H. Van Atta, Sidney Reed, and Seymour J. Deitchman, DARPA *Technical Accomplishments Volume II* (Institute for Defense Analyses, 1991), p. "12-2."

7 這樣的新系統：Werrell, *Evolution of the Cruise Missile*, p. 136.

8 「突擊破壞者」（Assault Breaker）：Van Atta et al., *DARPA Technical Accomplishments Volume II*, pp. 5—10.

9 部署『智慧型』武器：訪問Steve Roemerman, 2021; William J. Perry interview by Alfred Goldberg, Office of the Secretary of Defense, January 9, 1981.

10 「耍花樣」：Fred Kaplan, "Cruise Missiles: Wonder Weapon or Dud?" *High Technology*, February 1983; James Fallows, *National Defense* (Random House, 1981), p. 55; William Perry, "Fallows' Fallacies: A Review Essay," *International Security* 6, No. 4 (Spring 1982): 179.

11 「老古板」：William Perry interview by Russell Riley, University of Virginia's The Miller Center, February 21, 2006.

第十五章　競爭激烈

1 跟地獄沒兩樣：訪問Richard Anderson, 2021; Michael Malone, *Bill and Dave: How Hewlett and Packard Built the World's Greatest Company* (Portfolio Hardcover, 2006); "Market Conditions and International Trade in Semiconductors," Field Hearing Before the Subcommittee on Trade of the Committee of Ways and Means, House of Representatives, 96th Congress, April 28, 1980.

2 「咖嚓、咖嚓」國度：Michael Malone, *The Big Score* (Stripe Press, 2021), p. 248; Jorge Contreras, Laura Handley, and Terrence Yang, "Breaking New Ground in the Law of Copyright," *Harvard Law Journal of Technology* 3 (Spring 1990).

3 10倍以上：Rosen Electronics Newsletter, March 31, 1980.

4 「長尾」：Malone, *The Intel Trinity*, p. 284; Fred Warshofsky, *Chip War: The Battle for the World of Tomorrow* (Scribner, 1989), p. 101.

5 最先進的積體電路：*TPS-L2: User Manual* (Sony Corporation, 1981), p. 24.

6 3.85億台隨身聽："Vol. 20: Walkman Finds Its Way into the Global Vocabulary," Sony, https://www.sony.com/en/SonyInfo/CorporateInfo/History/capsule/20/.

7 競爭有多激烈：Oral History of Charlie Sporck, Computer History Museum.

第十六章　與日本開戰

1 無法中途放棄搏鬥：Mark Simon, "Jerry Sanders/Silicon Valley's Tough Guy," *San Francisco Chronicle*, October 4, 2001; Thomas Skornia, *A Case Study in Realizing the American Dream: Sanders and Advanced Micro Devices: The First Fifteen Years*, 1969-1984 (1984), https://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2019/01/102721657-05-01-acc.pdf.

2 必須擊倒、奮戰、宰了對方：Oral History of Charlie Sporck, Computer History Museum.

3 技術、生產力、品質的經濟戰：Michael S. Malone, "Tokyo, Calif," *New York Times*, November 1, 1981; Oral History of Charlie Sporck, Computer History Museum.

4 日立的員工遭到逮捕：Thomas C. Hayes, "American Posts Bail as Details of Operation by F.B.I. Unfold," *New York Times*, June 25, 1982.

5 建造更安靜的潛艇：Wende A. Wrubel, "The Toshiba-Kongsberg Incident: Shortcomings of Cocom, and Recommendations for Increased Effectiveness of Export Controls to the East Bloc," *American University International Law Review* 4, No. 1 (2011).

6 進一步證據：Stuart Auerbach, "CIA Says Toshiba Sold More to Soviet Bloc," *Washington Post*, March 15, 1988.

7 數十億美元的銷售額：Michael E. Porter and Mariko Sakakibara, "Competition in Japan," *Journal of Economic Perspectives* 18, No. 1 (Winter 2004): 36; *The Effect of Government Targeting on World Semiconductor Competition* (Semiconductor Industry Association, 1983), pp. 69-74.

8 約一半的預算：Kiyonari Sakakibara, "From Imitation to Innovation: The Very Large Scale Integrated (VLSI) Semiconductor Project in Japan," Working Paper, MIT Sloan School of Management, October 1983, https://dspace.mit.edu/handle/172L1/47985.

9 至少也要付出18%：Reid, *The Chip*, p. 224.

10 早就被逼到破產了：*The Effect of Government Targeting on World Semiconductor Competition*, p. 67.

11 借款利率卻比較低：Jeffrey A. Frankel, "Japanese Finance in the 1980s: A Survey," National Bureau of Economic Research, 1991; 家庭儲蓄、家庭消費、銀行貸款占GDP的百分比是取自data.worldbank.org.

12 持續飆升：P. R. Morris, *A History of the World Semiconductor Industry* (Institute of Electrical Engineers, 1990), p. 104; Robert Burgelman and Andrew S. Grove, *Strategy Is Destiny: How Strategy-Making Shapes a Company's Future* (Free Press, 2002), p. 35.

13 繼續建造新的設施：Scott Callan, "Japan, Disincorporated: Competition and Conflict, Success and Failure in Japanese High-Technology Consortia," PhD dissertation, Stanford University, 1993, p. 188, Table 7.14; Clair Brown and Greg Linden, *Chips and Change: How Crisis Reshapes the Semiconductor Industry* (MIT Press, 2009).

第十七章　出產垃圾

1 「最炙手可熱的高科技公司」之一：Clayton Jones, "Computerized Laser Swiftly Carves Circuits for Microchips," *Christian Science Monitor*, March 10, 1981; David E. Sanger, "Big Worries Over Small GCA," *New York Times*, January 19, 1987.

2 在加州101號公路上往返：Berlin, *The Man Behind the Microchip*, pp. 94, 119. 感謝Chris Mack為我指出這點。

3 投彈瞄準器：訪問Chris Mack, 2021; 訪問Dave Markle, 2021; Perkin Elmer, "Micralign Projection Mask Alignment System," The Chip History Center, https://www.chiphistory.org/154-perkin-elmer-micralign-projection-mask-alignment-system; Daniel P. Burbank, "The Near Impossibility of Making a Microchip," *Invention and Technology* (Fall 1999); Alexis C. Madrigal, "TOP SECRET: Your Briefing on the CIA's Cold-War Spy Satellite, 'Big Bird,' " *Atlantic*, December 29, 2011; Chris Mack, "Milestones in Optical Lithography Tool Suppliers," http://www.lithoguru.com/scientist/litho_history/milestones_tools.pdf.

4 拍攝蘇聯的照片：James E. Gallagher interview by Craig Addison, SEMI, March 9, 2005; Arthur W. Zafiropoulo interview by Craig Addison, SEMI, May 25, 2006; Geophysics Corporation of America, "About Our Corporation Members," *Bulletin American Meteorological Society*, December 12, 1962; Jones, "Computerized Laser Swiftly Carves Circuits for Microchips."

5 走到GCA的展區：訪問Griff Resor, 2021; "Griff Resor on Photolithography," Semi-History, YouTube video, January 30, 2009, 2:30, https://www.youtube.com/watch?v=OKfdHZCEfmY.

6 第一台步進曝光機："Griff Resor on Photolithography," SemiHistory, YouTube video, January 30, 2009, 2:30, https://www.youtube.com/watch?v=OKfdHZCEfmY; Chris Mack, "Milestones in Optical Lithography Tool Suppliers,"http://www.lithoguru.com/scientist/litho_history/milestones_tools.pdf; "GCA Burlington Division Shipment History of All 4800 DSW's as of September 1980," p. 1, in the possession of the author.

7 連股價也跟著飆漲：Sales data from Rebecca Marta Henderson, "The Failure of Established Firms in the Face of Technical Change," PhD dissertation, Harvard University, 1988, p. 217; Jones, "Computerized Laser Swiftly Carves Circuits for Microchips."

8 揮霍無度：訪問Peter Bealo、Ross Young、Bill Tobey, 2021; James E. Gallagher interview

by Craig Addison, SEMI, March 9, 2005.

9 我們只有格林伯格：訪問Bill Tobey、Jim Neroda、Peter Bealo, 2021; Ross Young, *Silicon Sumo* (Semiconductor Services, 1994), p. 279; Charles N. Pieczulewski, "Benchmarking Semiconductor Lithography Equipment Development & Sourcing Practices Among Leading Edge Manufacturers," Master's thesis, MIT, 1995, p. 54.

10 客戶已經受夠了：訪問Bill Tobey, Jim Neroda, and Peter Bealo, 2021; Young, *Silicon Sumo*, p. 279.

11 刻在晶片上的圖案：訪問Griff Resor, 2021.

12 「紙上興業主義」（paper entrepreneurialism）：Robert Reich, *The Next American Frontier* (Crown, 1983), p. 159.

13 「反應遲鈍」：訪問Gil Varnell, 2021; Rebecca Marta Henderson, "The Failure of Established Firms in the Face of Technical Change," p. 225; U.S. Department of Commerce, Bureau of Export Administration, Office of Strategic Industries and Economic Security, Strategic Analysis Division, *National Security Assessment of the U.S. Semiconductor Wafer Processing Industry Equipment* (1991), pp. 4-10.

14 那個時數的10倍：Henderson, "The Failure of Established Firms in the Face of Technical Change," pp. 220-222, 227; 訪問AMD的前高管, 2021.

15 扭轉局勢的計畫：訪問Pete Bealo與Bill Tobey, 2021; Henderson, "The Failure of Established Firms in the Face of Technical Change," pp. 222-225; Jay Stowsky, "The Weakest Link: Semiconductor Production Equipment, Linkages, and the Limits to International Trade," working paper, University of California, Berkeley, September 1987, p. 2.

16 稍微鬆口氣：Arthur W. Zafiropoulo interview by Craig Addison, SEMI, May 25, 2006; 訪問Peter Bealo與Jim Neroda, 2021.

第十八章　1980年代的原油

1 屋頂如寶塔狀傾斜的屋子裡：*Skornia, Sanders and Advanced Micro Devices*, p. 138; Daryl Savage, "Palo Alto: Ming's Restaurant to Close Dec. 28," Palo Alto Online, December 18, 2014, https://www.paloaltoonline.com/news/2014/12/18/mings-restaurant-to-close-dec-28.

2 「1980年代的原油」：Arthur L. Robinson, "Perilous Times for U.S. Microcircuit Makers," *Science* 208, No. 4444 (May 9, 1980): 582; *Skornia, Sanders and Advanced Micro Devices*, p. 140.

3 「半導體業的沙烏地阿拉伯」：Marvin J. Wolf, *The Japanese Conspiracy: The Plot to Dominate Industry Worldwide* (New English Library, 1984), p. 83.

4 最敏感的東西：David E. Sanger, "Big Worries Over Small GCA," *New York Times*, January 19, 1987.

5 「不需要任何人幫忙的矽谷牛仔」：訪問Richard Van Atta, 2021.

6 四個關鍵結論：Defense Science Board, *Report on Defense Semiconductor Dependency — February 1987*, pp. 1-2.

7 沒有半導體，你將寸步難行：Oral History of Charlie Sporck, Computer History Museum.

第十九章　死亡螺旋

1 沒有落後嗎？Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 264.

2 而不是軍方：Richard Langlois and Edward Steinmueller, “Strategy and Circumstance,” working paper, University of Connecticut, 1999, p. 1166.

3 都是一百美元啊：Clyde V. Prestowitz, Jr., “Beyond Laissez Faire,” *Foreign Policy*, No. 87 (Summer 1992): 71; email exchange with Michael Boskin, 2021; 雖然許多文章一再引述這句話，但我找不到他確實說過這句話的證據。

4 投資創投公司：Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 262; John G. Rauch, “The Realities of Our Times,” *Fordham Intellectual Property, Media and Entertainment Law Journal* 3, No. 2 (1993): 412.

5 幾乎毫無變化：Wolf, *The Japanese Conspiracy*, pp. 5, 91;訪問Alan Wolff, 2021; Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 270.

6 主導著DRAM市場：Doug Irwin, “Trade Politics and the Semiconductor Industry,” NBER working paper W4745, May 1994.

7 半導體製造技術聯盟（Sematech）：Young, *Silicon Sumo*, pp. 262-263.

8 只有30%的時間在運行：同前, pp. 268-269; 訪問英特爾借調到Sematech的員工, 2021; Larry D. Browning and Judy C. Shetler, *Sematech: Saving the U.S. Semiconductor Industry* (Texas A&M Press, 2000).

9 研討會：訪問英特爾借調到Sematech的員工, 2021.

10 「一半問題」：Robert Noyce, testifying before a Congressional committee, November 8, 1989; Peter N. Dunn, “GCA: A Lesson in Industrial Policy,” *Solid State Technology* 36, No. 2 (December 1993); Young, *Silicon Sumo*, pp. 270-276.

11 你已經完了：訪問Peter Simone, 2021.

12 國產設備：訪問Peter Simone, 2021.

13 走在時代的尖端：訪問嚴濤南, 2021; 訪問Peter Simone, 2021; Young, *Silicon Sumo*, pp. 262, 285.

14 無法說服英特爾放棄Nikon：Young, *Silicon Sumo*, p. 286.

15 政府也無能為力：Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 304; Young, Silicon Sumo, pp. 294-295; Jonathan Weber, “Chip Making Pioneer GCA Corp. Closes Factory: Technology: $60 Million in Government Funds Has Failed to Restore Massachusetts Firm to Financial Health,” *Los Angeles Times*, May 22, 1993.

第二十章　一個可以說NO的日本

1 「某種傲慢」：Morita, *Made in Japan*, pp. 73, 110-120, 134.

2 肯定有十場飯局：Nathan, *Sony*, p. 73.

3 就是運作得比較好：Morita, *Made in Japan*, pp. 193, 199, 205.

4 芥川獎：Ann Sherif, “The Aesthetics of Speed and the Illogicality of Politics: Ishihara

Shintaro's Literary Debut," *Japan Forum* 17, No. 2 (2005): 185-211.

5 成為世界第一：Wolf, *The Japanese Conspiracy*, p. 16.

6 非常重要的國家：Akio Morita and Shintaro Ishihara, *The Japan That Can Say No* (Konbusha Publishing Ltd., 1996).

7 有如放大版的丹麥：Samuel Huntington, "Why International Primacy Matters," *International Security* (January 2009): 75-76.

8 「瘋狂地」：Steven L. Herman, "Bootleg Translation of Japanese Book Hot Item in Congress," Associated Press, November 11, 1989.

9 表達他的觀點：James Flanigan, "U.S. Bashing Book by Sony's Chief Costs Him Credibility," *Los Angeles Times*, October 11, 1989.

10 〈高科技是外交政策〉：Harold Brown, "The United States and Japan: High Tech Is Foreign Policy," *SAIS Review* 9, No. 2 (Fall 1989).

11 預測亞洲的未來：Central Intelligence Agency, "East Asia's Economic Potential for the 1990s: A Speculative Essay," CREST Database, 1987.

第二十一章　薯片大王

1 馬鈴薯先生（Mr. Spud）：訪問美光的員工, 2021; George Anders, "At Potato Empire, an Heir Peels Away Years of Tradition," *Wall Street Journal*, October 7, 2004; Laurence Zuckerman, "From Mr. Spud to Mr. Chips; The Potato Tycoon Who Is the Force Behind Micron," *New York Times*, February 8, 1996; Andrew E. Serwer, "The Simplot Saga: How America's French Fry King Made Billions More in Semiconductors," *Fortune*, February 12, 2012.

2 該州的首富：馬鈴薯先生：訪問Ward Parkinson, 2021; Luc Olivier Bauer and E. Marshall Wilder, *Microchip Revolution* (Independently published, 2020), pp. 279-280.

3 Elmer's的鬆餅一份6.99美元：訪問Elmer's的職員, 2021; 訪問Ward Parkinson, 2021.

4 後來又追加了數百萬美元：Donald Woutat, "Maverick Chip Maker Shifts Stance: Micron Backs Protectionism After Launching Price War," *Los Angeles Times*, December 16, 1985; Peter Burrows, "Micron's Comeback Kid," *Business Week*, June 14, 1997.

5 DRAM部門虧損並進行裁員：David E. Sanger, "Prospects Appear Grim for U.S. Chip Makers," *New York Times*, October 29, 1985.

6 「愛達荷州的局外人」這種形象：David Staats, "How an Executive's Hair Dryer Saved the Memory Chips—Tales of Micron's 40 Years," *Idaho Statesman*, July 21, 2021.

7 一種自扯後腿的策略：Woutat, "Maverick Chip Maker Shifts Stance."

8 因為法律規定他們不能那樣做：David E. Sanger, "Japan Chip 'Dumping' Is Found," *New York Times*, August 3, 1985.

9 但也是生產成本最低的：訪問Ward Parkinson、Brian Shirley、Mark Durcan, 2021; Woutat, "Maverick Chip Maker Shifts Stance."

10 以前沒明文寫下來的東西：訪問Brian Shirley與Mark Durcan, 2021; Yoshitaka Okada,

"Decline of the Japanese Semiconductor Industry," *Development of Japanese Semiconductor Industry* (January 2006): 41; Bauer and Wilder, *The Microchip Revolution*, pp. 301-302.

11 並削減其餘員工的薪資：Bauer and Wilder, *The Microchip Revolution*, pp. 286, 302.

12 記憶體晶片是個非常殘酷的產業：訪問Mark Durcan, Ward Parkinson, and Brian Shirley, 2021.

第二十二章　顛覆英特爾

1 沒時間看學術界的廢話連篇：James Allworth, "Intel's Disruption Is Now Complete," *Medium*, November 11, 2020, https://jamesallworth.medium.com/intels-disruption-is-now-complete-d4fa771f0f2c.

2 「匈牙利來的狠角色」：Craig R. Barrett, interviews by Arnold Thackray and David C. Brock at Santa Clara, California, December 14, 2005 and March 23, 2006 (Philadelphia: Chemical Heritage Foundation, Oral History Transcript 0324).

3 產品延遲或客戶不滿的消息：Andrew S. Grove, *Only the Paranoid Survive: How to Exploit the Crisis Points That Challenge Every Company* (Currency Press, 1999), pp. 117-118.

4 觸底後最終會再回升：Grove, *Only the Paranoid Survive*, pp. 88-90; Robert A. Burgelman, "Fading Memories: A Process Theory of Strategic Business Exist in Dynamic Environments," *Administrative Science Quarterly* 39, No. 1 (March 1994): 41.

5 為一種名叫「個人電腦」的新產品製造晶片：Gerry Parker, "Intel's IBM PC Design Win," Gerry Parker，s Word Press Blog, July 20, 2014, https://gerrythetravelhund.wordpress.com/tag/ibm-pc/; Jimmy Maher, "The Complete History of the IBM PC, Part One: The Deal of the Century," *ars TECHNICA*, June 30, 2017, https://arstechnica.com/gadgets/2017/06/ibm-pc-history-part-1/.

6 內建一個小小的英特爾晶片："The Birth of the IBM PC," IBM Debut Reference Room, https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/pc25/pc25_birth.html; "IBM Personal Computer Launch," Waldorf Astoria, January 23, 2019.

7 這種展望實在令人難以置信：Craig R. Barrett, interviews by Arnold Thackray and David C. Brock at Santa Clara, California, December 14, 2005 and March 23, 2006.

8 「咬緊牙根」、「爭論不休」的時期：Grove, *Only the Paranoid Survive*, pp. 88-92.

9 「建設性衝突」（constructive confrontation）策略來解決：Elizabeth Corcoran, "Intel CEO Andy Grove Steps Aside," *Washington Post*, March 27, 1998; 訪問英特爾的前員工, 2021.

10 「冒險」比「控制」更有趣：Christophe Lecuyer, "Confronting the Japanese Challenge: The Revival of Manufacturing at Intel," *Business History Review* (July 2019); Berlin, *The Man Behind the Microchip*, p. 180.

11 這才是你們應該做的事：Lecuyer, "Confronting the Japanese Challenge," pp. 363-364; Craig R. Barrett, interviews by Arnold Thackray and David C. Brock at Santa Clara, California, December 14, 2005 and March 23, 2006. Richard S. Tedlow, Andy Grove: *The Life and Times of an American Business Icon* (Penguin, 2007), p. 203.

12 更像一台精準調節的機器：Lecuyer, "Confronting the Japanese Challenge," pp. 363, 364, 369, 370; Craig R. Barrett, interviews by Arnold Thackray and David C. Brock at Santa Clara, California, December 14, 2005 and March 23, 2006. pp. 65, 79.

13 比IBM還多：Therese Poletti, “Crucial Mistakes: IBM's Stumbles Opened Door for Microsoft, Intel,” Chicago Tribune, August 13, 2001.

第二十三章　我的敵人的敵人——韓國崛起

1 強大又永恆：Geoffrey Cain, *Samsung Rising* (Currency Press, 2020), p. 33.

2 開著那台車在被占領的首都穿梭：Cain, *Samsung Rising*, pp. 33-41.

3 家訓第一條就是「事業報國」：Dong-Sung Cho and John A. Mathews, *Tiger Technology* (Cambridge University Press, 2007), pp. 105-106; Cain, *Samsung Rising*, pp. 40, 41, 46; on Lee's wealth, “Half a Century of Rise and Fall of the Korean Chaebol in Terms of Income and Stock Price,” Yohap News Agency, November 7, 2006, https://www.yna.co.kr/view/AKR20110708154800008.

4 發展出先進技術：Si-on Park, *Like Lee Byung-chul*, p. 71; Cho and Mathews, *Tiger Technology*, p. 112; Daniel Nenni and Don Dingee, *Mobile Unleashed* (Semi Wiki, 2015); Kim Dong-Won and Stuart W. Leslie, “Winning Markets or Winning Nobel Prizes? KAIST and the Challenges of Late Industrialization,” *Osiris* 13 (1998): 167-170; Donald L. Benedict, KunMo Chung, Franklin A. Long, Thomas L. Martin, and Frederick E. Terman, “Survey Report on the Establishment of the Korea Advanced Institute of Science,” prepared for US Agency for International Development, December 1970, http://large.stanford.edu/history/kaist/docs/terman/summary/. On Samsung's early difficulties, see Hankook semiconductor; eg. Samsung Newsroom, “Semiconductor Will Be My Last Business,” *Samsung*, March 30, 2010, https://news.samsung.com/kr/91.

5 光看是無法複製那些祕密的：Park Si-on, *Like Lee Byung-chul*, pp. 399, 436.

6 準備投入至少1億美元：Myung Oh and James F. Larson, *Digital Development in Korea: Building an Information Society* (Routledge, 2011), p. 54; Park Si-on, *Like Lee Byung-chul*, p. 386; Cho and Mathews, *Tiger Technology*, pp. 105, 119, 125; Lee Jae-goo, “Why Should We Do the Semiconductor Industry,” tr. Soyoung Oh, *ZDNET Korea*, Mar 15, 1983, https://zdnet.co.kr/view/?no=20110328005714.

7 造成「致命」的影響：Tedlow, Andy Grove, p. 218; Robert W. Crandall and Kenneth Flamm, *Changing the Rules* (Brookings Institution Press, 1989), p. 315; Susan Chira, “Korea's Chip Makers Race to Catch Up,” *New York Times*, July 15, 1985; “Company News: Intel Chip Pact,” *New York Times*, June 26, 1987.

8 美日的貿易關係緊繃也有助於韓國企業：Richard E. Baldwin, “The Impact of the 1986 US-Japan Semiconductor Agreement,” *Japan and the World Economy* 6, No. 2 (June 1994): 136-137; Douglas A. Irwin, “Trade Policies and the Semiconductor Industry,” in Anne O. Krueger, ed., *The Political Economy of American Trade Policy* (University of Chicago Press, 1994), pp. 46-47.

9 我的敵人的敵人，就是我的朋友：Linsu Kim, “Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning,” Columbia University East Asian Center, 1997, p. 89, cites the example of Zyrtek transferring advanced production knowledge for a $2.1 million fee; 訪問Ward Parkinson, 2021; Andrew Pollack, “U.S.-Korea Chip Ties Grow,” *New York Times*, July 15, 1985.

第二十四章　晶片業的古騰堡時刻

1 第一個微處理器的流程：Federico Faggin, “The Making of the First Microprocessor,” IEEE,

2009; Federico Faggin, *Silicon* (Waterline, 2021), esp. ch. 3.

2 正為了這個難題傷透腦筋：B. Hoeneisen and C. A. Mead, “Fundamental Limitations in Microelectronics—I. MOS Technology,” *Solid State Electronics* 15, No. 7 (July 1972), https://authors.library.caltech.edu/54798/.

3 康維是傑出的電腦科學家：訪問Lynn Conway, 2021, where she surprised me by wanting to discuss the nuances of John Gaddis, *The Landscape of History* (Oxford University Press, 2004).

4 以「隱姓埋名」的方式加入全錄：Dianne Lynch, “Wired Women: Engineer Lynn Conway's Secret,” ABC News, January 7, 2006.

5 出奇地落伍：訪問Lynn Conway, 2021.

6 你可以自己編寫：“Lambda Magazine Lights the Way for VLSI Design,” IEEE Silicon Valley History Videos, YouTube Video, July 27, 2015, 00:01:40, https://www.youtube.com/watch?v=DEYbQiXvbnc; “History of VLSI-C. Mead-2/1/2011,” California Institute of Technology, YouTube Video, May 29, 2018, https://www.youtube.com/watch?v=okZBhJ-KvaY.

7 古騰堡時刻來臨了：“1981 Electronics AWARD FOR ACHIEVEMENT,” University of Michigan, https://ai.eecs.umich.edu/people/conway/Awards/Electronics/ElectAchiev.html; 訪問Lynn Conway與Carver Mead, 2021.

8 培養出足夠的晶片設計師：Van Atta et al., DARPA *Technical Accomplishments: An Historical Review of Selected DARPA Projects II*, February 1990, AD-A239 925, p. 17-5.

9 維持美國軍事優勢的關鍵：訪問Paul Losleben, 2021; Van Atta et al., DARPA *Technical Accomplishments*, p. 17-1.

10 培養出來的校友創立的：訪問David Hodges、Steve Director、Aart de Geus、Alberto Sangiovanni-Vincentelli、Rob Rutenbar; “1984 Annual Report,” Semiconductor Research Corporation, 1984, https://www.src.org/src/story/timeline.

11 如何儲存與交流資訊：Irwin Jacobs interview by David Morton, IEEE History Center, October 29, 1999.

12 這就是未來：Daniel J. Costello, Jr., and David Forney, Jr., “Channel Coding: The Road to Channel Capacity,” Proceedings of the IEEE 95, No. 6 (June 2007); O. Aftab, P. Cheung, A. Kim, S. Thakkar, and N. Yeddanapudi, “Information Theory and the Digital Age,” 6.933 Project History, MIT, https://web.mit.edu/6.933/www/Fall2001/Shannon2.pdf; David Forney Jr. interview by Andrew Goldstein, Center for the History of Electrical Engineering, May 10, 1995; Daniel Nenni, “A Detailed History of Qualcomm,” *SemiWiki*, March 19, 2018, https://semiwiki.com/general/7353-a-detailed-history-of-qualcomm/.

第二十五章　蘇聯KGB技術局

1 會乾脆待在莫斯科喝個爛醉：Details of Vetrov's life draw heavily from Sergei Kostin and Eric Raynaud, *Farewell: The Greatest Spy Story of the Twentieth Century* (Amazon Crossing, 2011).

2 並提升其生產積體電路的能力：CIA, “The Technology Acquisition Efforts of the Soviet Intelligence Services,” June 18, 1982, p. 15, https://www.cia.gov/readingroom/docs/DOC_0000261337.pdf; Philip Hanson, Soviet Industrial Espionage (Royal Institute of

International Affairs, 1987).

3 「墜落」身亡：Sergey Chertoprud, *Naucho-Tekhnicheskaia Razvedka* (Olma Press, 2002), p. 283; Daniela Iacono, “A British Banker Who Plunged to His Death,” United Press International, May 15, 1984; Michael S. Malone, “Going Underground in Silicon Valley,” *New York Times*, May 30, 1982.

4 直接抄襲美國的微處理器：Jay Tuck, *High-Tech Espionage* (St. Martin's Press, 1986), p. 107; Simonov, *Nesostoyavshayasya Informatsionnaya Revolyutsiya*, p. 34.

5 空殼公司：Edgar Ulsamer, “Moscow's Technology Parasites,” *Air Force Magazine*, December 1, 1984.

6 測試晶片的機器：Central Intelligence Agency, “Soviet Acquisition of Militarily Signi$cant Western Technology: An Update,” September 1985, p. 25, http://insidethecoldwar.org/sites/default/$les/documents/CIA%20Report%20on%20Soviet%20Acquisition%20of%20Militarily%20Signi$cant%20Western%20Technology%20September%201985.pdf.

7 與法國的情報機構有聯繫：Kostin and Raynaud, *Farewell*.

8 蘇聯竊取的資料量有多龐大：Hanson, *Soviet Industrial Espionage*; Central Intelligence Agency, “Soviet Acquisition of Militarily Significant Western Technology: An Update”; Kostin and Raynaud, Farewell; Thierry Wolton, *Le KGB en France* (Club Express, 1986).

9 總是落後美國五年：Central Intelligence Agency, “Soviet Computer Technology: Little Prospect of Catching Up,” National Security Archive, March 1985, p. 4, https://nsarchive.gwu.edu/document/22579-document-02-central-intelligence-agency-sovie; Bruce B. Weyrauch, “Operation Exodus,” *Computer/Law Journal* 7, No. 2 (Fall 1986); Hanson, *Soviet Industrial Espionage*; Jon Zonderman, “Policing High-Tech Exports,” *New York Times*, November 27, 1983.

第二十六章　抵銷策略的影響

1 「大規模毀滅性武器」：Dale Roy Herspring, *The Soviet High Command, 1967-1989* (Princeton University Press, 2016), p. 175.

2 是「自找的」：Christopher Andrew and Oleg Gordievsky, “1983 Downing of KAL Flight Showed Soviets Lacked Skill of the Fictional 007,” *Los Angeles Times*, November 11, 1990.

3 享有明顯的優勢：Brian A Davenport, “The Ogarkov Ouster,” *Journal of Strategic Studies* 14, No. 2 (1991): 133; CIA and Defense Department, “US and Soviet Strategic Forces: Joint Net Assessment,” Secretary of Defense, November 14, 1983, https://nsarchive2.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB428/docs/1.US%20and%20Soviet%20Strategic%20Forces%20Joint%20Net%20Assessment.pdf.

4 「軍事技術革命」：Center for Naval Analyses, *Marshal Ogarkov on Modern War: 1977-1985*, AD-A176 138, p. 27; Dima P. Adamsky, “Through the Looking Glass: The Soviet Military-Technical Revolution and the American Revolution in Military Affairs,” *Journal of Strategic Studies* 31, No. 2 (2008).

5 裴瑞的「抵銷戰略」奏效了：關於抵銷技術的精彩概述（基本上都依賴半導體），參見 David Burbach, Brendan Rittenhouse Green, and Benjamin Friedman, “The Technology of the Revolution in Military Affairs,” in Harvey Sapolsky, Benjamin Friedman, and Brendan

Green, eds., *U.S. Military Innovation Since the Cold War: Creation Without Destruction* (Routledge, 2012), pp. 14-42; CIA, "Soviet Defense Industry: Coping with the Military-Technological Challenge," CIA Historical Review Program, July 1987, p. 17, https://www.cia.gov/readingroom/docs/DOC_0000499526.pdf; Adamsky, "Through the Looking Glass," p. 260.

6 飛彈導引電腦：Anatoly Krivonosov, "Khartron: Computers for Rocket Guidance Systems," in Boris Malinovsky, "History of Computer Science and Technology in Ukraine," tr. Slava Gerovitch, Computing in the Soviet Space Program, December 16, 2002, https://web.mit.ed6slava/space/essays/essay-krivonosov.htm; Donald MacKenzie, "The Soviet Union and Strategic Missile Guidance," International Security 13, No. 2 (Fall 1988); Georgii Priss interview by Slava Gerovitch, *Computing in the Soviet Space Program*, May 23, 2002, https://web.mit.edu/slava/space/interview/interview-priss.htm#q3.

7 自行運算出到達目標的路徑：MacKenzie, "The Soviet Union and Strategic Missile Guidance," pp. 30—32, 35.

8 98%的蘇聯洲際彈道飛彈（ICBM）：MacKenzie, "The Soviet Union and Strategic Missile Guidance," p. 52, citing a CEP of .06 nautical miles; Pavel Podvig, "The Window of Opportunity That Wasn't: Soviet Military Buildup in the 1970s," International Security (Summer 2008): 129, cites a CEP of 0.35-0.43 kilometers. 還有其他變數可以比較飛彈，包括導彈攜帶的彈頭大小與數量、它們發射或重新定位的速度。但美國擁有精準優勢的基本趨勢依然存在；98%的數字是來自John G. Hines, Ellis M. Mishulovich, and John F. Shull, *Soviet Intentions*, 1965-1985, Vol. 2 (BDM Federal, Inc., 1995), pp. 46, 90. 注意，這98%可能過於誇大美國的能力，但仍然證明了蘇聯的擔憂。Cf. Brendan R. Green and Austin Long, "The MAD Who Wasn't There: Soviet Reactions to Late Cold War Nuclear Balance," *Security Studies* 26, No. 4 (July 7, 2017).

9 就能追蹤蘇聯潛艇：Owen R. Cote, Jr., "The Third Battle: Innovation in the U.S. Navy's Silent Cold War Struggle with Soviet Submarines," Newport Papers, Naval War College, 2003; Joel S. Wit, "Advances in Antisubmarine Warfare," *Scientific American* 244, No. 2 (February 1981): 31-41; D. L. Slotnick, "The Conception and Development of Parallel Processors: A Personal Memoir," *Annals of the History of Computing* 4, No. 1 (January-March 1982); Van Atta et al., DARPA Technical Accomplishments II; Christopher A. Ford and David A. Rosenberg, "The Naval Intelligence Underpinnings of Reagan's Maritime Strategy," *Journal of Strategic Studies* 28, No. 2 (April 2005): 398; John G. Hines, Ellis M. Mishulovich, and John F. Shull, *Soviet Intentions* 1965-1985, Vol. 1 (BDM Federal, Inc., 1995), p. 75; Green and Long, "The MAD Who Wasn't There," pp. 607, 639. 1980年代，蘇聯SSBN飛彈的可靠性也有重大問題; 參見Steven J. Zaloga, *The Kremlin's Nuclear Sword: The Rise and Fall of Russia's Strategic Nuclear Forces 1945-2000* (Smithsonian Books, 2014), p. 188.

10 「在戰略武器方面明顯落後」：Green and Long, "The MAD Who Wasn't There," p. 617.

11 蘇聯的生存：Danilevich quoted in Hines, Mishulovich, and Shull, *Soviet Intentions* 1965-1985, Vol. 1, p. 57; Dale R. Herspring, "Nikolay Ogarkov and the Scientific Technical Revolution in Soviet Military Affairs," *Comparative Strategy* 6, No. 1 (1987); Mary C. Fitzgerald, "Soviet Views on Future War: The Impact of New Technologies," *Defense Analysis* 7, Nos. 2-3 (1991). 蘇聯官員對指揮、控制與通訊系統的存續性深為擔憂; 參見Hines, Mishulovich, and Shull, *Soviet Intentions* 1965-1985, Vol. 1, p. 90; Marshal

Vasili Petrov, quoted in 1983 as perceiving a NATO plan to "create and make use of the potential for a 'disarming' first [conventional] strike," in Thomas M. Nichols, *The Sacred Cause: Civil-Military Conflict over Soviet National Security*, 1917-1992 (NCROL, 1993), p. 117; Mary C. Fitzgerald, "Marshal Ogarkov on the Modern Theater Operation," *Naval War College Review* 39, No. 4 (1986); Mary C. Fitzgerald, "Marshal Ogarkov and the New Revolution in Soviet Military Affairs," *Defense Analysis* 3, No. 1 (1987).

12 有更多的紀律：Mikhail Gorbachev, "*Zasedanie Politbyuro Tsk Kpss 30 liulia Goda*," in Sobranie Sochinenii, Book 9 (Ves' Mir, 2008), pp. 339-343. 這裡我是隨性翻譯.

13 奧索金被里加的半導體廠解雇：訪問Sergei Osokin, 2021.

14 蘇聯的八倍：Simonov, *Nesostoyavshayasya Informatsionnaya Revolutsiya*, p. 70; Seymour Goodman and William K. McHenry, "The Soviet Computer Industry: A Tale of Two Sectors," *Communications of the ACM* (January 1991): 32.

15 缺乏國際供應鏈：V. V. Zhurkin, "*Ispolzovanie Ssha Noveishhikh Dostizhenii Nauki i Tekhniki v Sfere Vneshnei Politiki*," Academy of Sciences Archive, August 7, 1987.

16 產量迅速成長：Charles S. Maier, *Dissolution* (Princeton University Press, 1999), pp. 74-75.

第二十七章　戰爭英雄

1 在越南服役兩次：Robert D. McFadden, "Gen. H. Norman Schwarzkopf, U.S. Commander in Gulf War, Dies at 78," *New York Times*, December 27, 2012.

2 波斯灣戰爭就此開打：Rick Aktinson, *Crusade: The Untold Story of the Persian Gulf War* (Mariner Books, 1994), pp. 35-37.

3 與部隊溝通的能力："The Theater's Opening Act," *Washington Post*, 1998; Aktinson, *Crusade*, p. 37.

4 第一代鋪路雷射導引炸彈相同：「鋪路」雷射導引炸彈的細節是來自Steve Roemerman的訪問, 2021.

5 擊中目標的機率是13倍：Stephen P. Rosen, "The Impact of the Office of Net Assessment on the American Military in the Matter of the Revolution of Military Affairs," *Journal of Strategic Studies* 33, No. 4 (2010): 480.

6 而免於喪命：訪問Steve Roemerman, 2021.

7 高科技奏效了：Bobby R. Inman, Joseph S. Nye Jr., William J. Perry, and Roger K. Smith, "Lessons from the Gulf War," *Washington Quarterly* 15, No. 1 (1992): 68; Benjamin S. Lambeth, *Desert Storm and Its Meaning* (RAND Corporation, 1992).

8 「電腦晶片或成戰爭英雄」：William J. Broad, "War in the Gulf: High Tech; War Hero Status Possible for the Computer Chip," *New York Times*, January 21, 1991; Barry D. Watts, *Six Decades of Guided Munitions and Battle Networks: Progress and Prospects* (Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2007), p. 146;訪問Steve Roemerman.

9 讓他相當尷尬：Mary C. Fitzgerald, "The Soviet Military and the New 'Technological Operation' in the Gulf," *Naval War College Review* 44, No. 4 (Fall 1991): 16-43, https://www.jstor.org/stable/44638558; Stuart Kaufman, "Lessons from the 1991 Gulf War and Military Doctrine," *Journal of Slavic Military Studies* 6, No. 3 (1993); Graham E. Fuller, "Moscow and the Gulf War," *Foreign Affairs* (Summer 1991); Gilberto Villahermosa, "Desert Storm: The Soviet View," Foreign Military Studies Office, May 25, 2005, p. 4.

第二十八章　「冷戰結束，你們贏了」

1 不可能長久延續下去的：Michael Pettis, *The Great Rebalancing* (Princeton University Press, 2013).

2 削價競爭：Yoshitaka Okada, "Decline of the Japanese Semiconductor Industry," in Yoshitaka Okada, ed., *Struggles fOr Survival* (Springer, 2006), p. 72.

3 「晚上就睡不著覺了」：Marie Anchordoguy, *Reprogramming Japan* (Cornell University Press, 2005), p. 192.

4 並未削減虧損部門的投資：Sumio Saruyama and Peng Xu, *Excess Capacity and the Difficulty of Exit: Evidence from Japan's Electronics Industry* (Springer Singapore, 2021); "Determination Drove the Development of the CCD 'Electric Eye,' " Sony, https://www.sony.com/en/SonyInfo/CorporateInfo/History/SonyHistory/2-11.html.

5 仍可持續「記憶」資料：Kenji Hall, "Fujio Masuoka: Thanks for the Memory," Bloomberg, April 3, 2006; Falan Yinung, "The Rise of the Flash Memory Market: Its Impact on Firm Behavior and Global Semiconductor Trade Patterns," *Journal of International Commerce and Economics* (July 2007).

6 降到1998年的20%：Andrew Pollack, "U.S. Chips' Gain Is Japan's Loss," *New York Times*, January 3, 1991; Okada, "Decline of the Japanese Semiconductor Industry," p. 41; "Trends in the Semiconductor Industry," Semiconductor History Museum of Japan, https://www.shmj.or.jp/english/trends/trd90s.html.

7 支持伊拉克的鄰國：Japan Ministry of Foreign Affairs, "How the Gulf Crisis Began and Ended," in *Diplomatic Bluebook* 1991, https://www.mofa.go.jp/policy/other/bluebook/1991/1991-2-1.htm; Japan Ministry of Foreign Affairs, "Japan's Response to the Gulf Crisis," in Diplomatic Bluebook 1991, https://www.mofa.go.jp/policy/other/bluebook/1991/1991-2-2.htm; Kent E. Calder, "The United States, Japan, and the Gulf Region," The Sasakawa Peace Foundation, August 2015, p. 31; T. R. Reid, "Japan's New Frustration," *Washington Post*, March 17, 1991.

8 我們別再爭論誰贏了："G-Day: Soviet President Gorbachev Visits Stanford Business School," Stanford Graduate School of Business, September 1990, https://www.gsb.stanford.edu/experience/news-history/history/g-day-soviet-president-gorbachev-visits-stanford-business-school; David Remnick, "In U.S., Gorbachev Tried to Sell a Dream," *Washington Post*, June 6, 1990.

9 五歲開始就有電腦了：Gelb first recounted this story in 1992; I quote from his 2011 article on the topic; Leslie H. Gelb, "Foreign Affairs; Who Won the Cold War?" *New York Times*, August 20, 1992; Leslie H. Gelb, "The Forgotten Cold War: 20 Years Later, Myths About U.S. Victory Persist," *Daily Beast*, July 14, 2017.

10 玩具的內建晶片：訪問Peter Gordon, 2021.

第二十九章　在台灣建立半導體產業

1 你需要多少錢：Wang, *K.T. Li and the Taiwan Experience*, p. 217; Oral History of Morris Chang, taken by Alan Patterson, August 24, 2007, Computer History Museum.

2 仍遠遠落後於先進技術：Tekla S. Perry, "Morris Chang: Foundry Father," IEEE Spectrum, April 19, 2011; "Stanford Engineering Hero Lecture: Morris Chang in conversation with President John L. Hennessy," Stanford Online, YouTube Video, April 25, 2004, around minute 36, https://www.youtube.com/watch?v=wEh3ZgbvBrE.

3 相當於「經濟戰」："TI Board Visit to Taiwan 1978," Texas Instruments Special Collection, 90-69 TI Board Visit to Taiwan, DeGolyer Library, Southern Methodist University.

4 「被派到不重要的職位」：Oral History of Morris Chang, Computer History Museum.

5 台灣對我來說是個陌生的地方："Morris Chang's Last Speech," tr. Kevin Xu, *Interconnected Newsletter*, September 12, 2021, https://interconnected.blog/morris-changs-last-speech; 關於拒絕一份工作邀請，參見L. Sophia Wang, ed., *K. T. Li Oral History* (2nd edition, 2001), pp. 239-40, with thanks to Mindy Tu for translating; "Stanford Engineering Hero Lecture: Morris Chang in conversation with President John L. Hennessy," around minute 34, https://www.youtube.com/watch?v=wEh3ZgbvBrE. 關於張忠謀的德州身份：訪問張忠謀, 2022.

6 很大的發揮空間：Oral History of Morris Chang, Computer History Museum.

7 目前的半導體所無法支援的："1976 Morris Chang Planning Doc," Texas Instruments Special Collection, Fred Bucy Papers, DeGolyer Library, Southern Methodist University.

8 已經在台灣醞釀好幾年了：Chintay Shih interview by Ling-Fei Lin, Computer History Museum, February 21, 2011; National Research Council, "Appendix A3: Taiwan's Industrial Technology Research Institute," in *21st Century Manufacturing* (The National Academies Press, 2013); Oral History of Morris Chang, Computer History Museum.

9 但這個概念不算：Douglas B. Fuller, "Globalization for Nation Building: Industrial Policy for High-Technology Products in Taiwan," working paper, Massachusetts Institute of Technology, 2002.

10 台積電27.5%的股份：Rene Raaijmakers, *ASML's Architects* (Techwatch Books, 2018), ch. 57. On Philips' transfer of IP, see John A. Mathews, "A Silicon Valley of the East," *California Management Review* (1997): 36; Daniel Nenni, "A Brief History of TSMC," *SemiWiki*, August 2, 2012.

11 台灣政府的專案："Stanford Engineering Hero Lecture: Morris Chang in conversation with President John L. Hennessy"; Donald Brooks interview by Rob Walker, Stanford University Libraries, February 8, 2000, 1:45, https://exhibits.stanford.edu/silicongenesis/catalog/cj789gh7170.

12 與美國晶片業的緊密關連："TSMC Announces Resignation of Don Brooks," *EE Times*, March 7, 1997; Donald Brooks interview by Rob Walker, 1:44; "1995 Annual Report," Taiwan Semiconductor Manufacturing, Ltd, 1995; on educational links, see Douglas B. Fuller, "The Increasing Irrelevance of Industrial Policy in Taiwan, 2016-2020," in Gunter Schubert and Chun-Yi Lee, eds., *Taiwan During the First Administration of Tsai Ing-wen: Navigating Stormy Waters* (Routledge, 2020), p. 15.

13 讓台灣與矽谷雙雙受惠：AnnaLee Saxenian, *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128* (Harvard University Press, 1994); AnnaLee Saxenian, *The New Argonauts: Regional Advantage in a Global Economy* (Harvard University Press, 2006).

第三十章　「所有人都必須製造半導體」

1 大致相同：Jonathan Pollack, "The Chinese Electronics Industry in Transition," Rand Corporation, N-2306, May 1985; David Dorman, "The Military Imperative in Chinese Economic Reform: The Politics of Electronics, 1949-1999," PhD dissertation, University of Maryland, College Park, 2002; on the 1KB DRAM, see Richard Baum, "DOS ex Machina," in Denis Fred Simon and Merle Goldman, eds., *Science and Technology in Post-Mao China* (Harvard University Asia Center, 1989), p. 357.

2 第一塊積體電路：Yiwei Zhu, *Essays on China's IC Industry Development*, tr. Zoe Huang (2006), pp. 140-144.

3 回到生產實踐中去：National Research Council, "Solid State Physics in the People's Republic of China: A Trip Report of the American Solid State Physics Delegation," 1976, p. 89.

4 進行驚天動地的群眾運動："Shanghai Workers Vigorously Develop Electronics Industry," October 9, 1969, translation of *Renmin Ribao* article in *Survey of the Chinese Mainland Press*, No. 4520, October 21, 1969, pp. 11-13.

5 「只有鋼鐵業才應該發揮主導作用」：Denis Fred Simon and Detlef Rehn, *Technological Innovation in China: The Case of Shanghai Semiconductor Industry* (Ballinger Publishing Company, 1988), pp. 47, 50; Lowell Dittmer, "Death and Transfiguration," *Journal of Asian Studies* 40, No. 3 (May 1981): 463.

6 所有人都必須製造半導體：Lan You Hang, “The Construction of Commercial Electron Microscopes in China,” *Advances in Imaging and Electron Physics* 96 (1996): 821; Sungho Rho, Keun Lee, and Seong Hee Kim, “Limited Catch Up in China's Semiconductor Industry: A Sectoral Innovation System Perspective,” *Millennial Asia* (August 19, 2015): 159.

7 報廢太多了：Hua Guafeng, September 26, 1975, quoted in Roderick MacFarquhar and Michael Schoenhals, *Mao's Last Revolution* (Belknap Press, 2008), pp. 400-401.

8 反對「自我榮耀」：National Research Council, “Solid State Physics in the People's Republic of China,” p. 151.

9 政治官僚：Hoddeson and Daitch, *True Genius*, p. 277.

10 全中國只有1500台電腦：Baum, “DOS ex Machina,” pp. 347—348; National Research Council, “Solid State Physics in the People's Republic of China,” pp. 52—53.

11 新的武器系統、消費電子與電腦：Simon and Rehn, *Technological Innovation in China*, pp. 15, 59, 66; Baum, “DOS ex Machina,” pp. 347—348.

12 第三台機器出口：Simon and Rehn, *Technological Innovation in China*, pp. 17, 27, 48.

第三十一章　「與中國人分享上帝的愛」

1 「與中國人分享上帝的愛」：“share God's love with the Chinese”: Evelyn Iritani, “China's Next Challenge: Mastering the Microchip,” *Los Angeles Times*, October 22, 2002.

2 還有一座教堂：Andrew Ross, *Fast Boat to China* (Vintage Books, 2007), p. 250.

3 更進一步降至13%：Antonio Varas, Raj Varadarajan, Jimmy Goodrich, and Falan Yinug, “Government Incentives and US Competitiveness in Semiconductor Manufacturing,” Boston Consulting Group and Semiconductor Industry Association (September 2020), p. 7.

4 做晶圓代工：John A. Matthews, “A Silicon Valley of the East,” *California Management Review* (1997).

5 膽小鬼賽局：訪問三星的高管, 2021.

6 勢不可擋：關於信用額度補貼，參見S. Ran Kim, “The Korean System of Innovation and the Semiconductor Industry,” *Industrial and Corporate Change* 7, No. 2 (June 1, 1998): 297-298.

7 還是有利可圖：訪問中國的科技分析師, 2021.

8 義大利等地的工：Peter Clarke, “ST Process Technology Is Base for Chang's Next Chinese Foundry,” tr. Claus Soong, *EE News Analog*, February 24, 2020; “Business Figures Weekly: the Father of Chinese Semiconductors—Richard Chang,” CCTV, YouTube Video, April 29, 2010, https://www.youtube.com/watch?v=NVHAyrGRM2E; http://magazine.sina.com/bg/southernpeopleweekly/2009045/2009-12-09/ba80442.html; https://www.coolloud.org.tw/node/6695.

9 早期的成果大多不太理想：Douglas B. Fuller, *Paper Tigers, Hidden Dragons* (Oxford University Press, 2016), pp. 122-126; John VerWey, “Chinese Semiconductor Industrial Policy: Past and Present,” *United States International Trade Commission Journal of International Commerce and Economics* (July 2019): 11.

10 把技術引進中國：這是中國晶片業的頂尖專家Doug Fuller的判斷, in *Paper Tigers, Hidden Dragons*, p. 122.

11 「位於中國的晶圓廠」：Fuller, *Paper Tigers, Hidden Dragons*, p. 125; Yin Li, "From Classic Failures to Global Competitors: Business Organization and Economic Development in the Chinese Semiconductor Industry," Master's thesis, University of Massachusetts, Lowell, pp. 32-33.

12 合資成立的：Lee Chyen Yee and David Lin, "Hua Hong NEC, Grace Close to Merger," Reuters, December 1, 2011.

13 「商業策略」顧問："China's Shanghai Grace Semiconductor Breaks Ground on New Fab, Report Says," *EE Times*, November 20, 2000; Warren Vieth and Lianne Hart, "Bush's Brother Has Contract to Help Chinese Chip Maker," Los Angeles Times, November 27, 2003.

14 又難以獲得客戶：Ming-chin Monique Chu, The East Asian Computer Chip War (Routledge, 2013), pp. 212-213; "Fast-Track Success of Jiang Zemin's Eldest Son, Jiang Mianheng, Questioned by Chinese Academics for Years," *South China Morning Post*, January 9, 2015. On the difficulties of Grace, see Fuller, *Paper Tigers, Hidden Dragons*, ch. 5; Michael S. Chase, Kevin L. Pollpeter, and James C. Mulvenon, "Shanghaied: The Economic and Political Implications for the Flow of Information Technology and Investment Across the Taiwan Strait (Technical Report)," RAND Corporation, July 26, 2004, pp. 127-135.

15 逾15億美元的資金："Richard Chang: Taiwan's Silicon Invasion," Bloomberg Businessweek, December 9, 2002; Ross, *Fast Boat to China*, p. 250.

16 來自美國投資者：Chase et al., "Shanghaied," p. 149.

17 至少有400名是來自台灣："Richard Chang and His SMIC Team," *Cheers Magazine*, April 1, 2000, https://www.cheers.com.tw/article/article.action?id=5053843.

18 幫助本地工程師學習：Fuller, *Paper Tigers, Hidden Dragons*, pp. 132, 134-135; VerWey, "Chinese Semiconductor Industrial Policy," pp. 11-12; Yin Li, "From Classic Failures to Global Competitors," pp. 45-48; Er Hao Lu, *The Developmental Model of China's Semiconductor Industry*, 2000-2005（中國半導體產業發展模式）, Doctoral dissertation, National Chengchi University, Taipei, Taiwan, 2008, pp. 33-35, with thanks to Claus Soong for translating; Ross, Fast Boat to China, p. 248.

19 可減銷售稅：Yin-Yin Chen, "The Political Economy of the Development of the Semiconductor Industry in Shanghai,1956-2006," Thesis, National Taiwan University, 2007, pp. 71-72; Lu, *The Developmental Model of China's Semiconductor Industry*, pp. 75-77. Thanks to Claus Soong for translating these sources.

20 採用接近頂尖的技術：Yin Li, "From Classic Failures to Global Competitors," pp. 45-48.

21 世界一流的代工企業：Fuller, *Paper Tigers, Hidden Dragons*, pp. 132, 136; "Semiconductor Manufacturing International Corporation Announces Proposed Dual Listing on SEHK and NYSE," SMIC, March 7, 2004, https://www.smics.com/en/site/news_read/4212; "Chip maker SMIC falls on debut," CNN, Mar 18, 2004.

第三十二章　微影製程戰

1 去開發EUV微影成像技術：訪問John Carruthers, 2021；本章主要是源自以下採訪：Vivek

Bakshi、Chris Mack、Chuck Gwyn、David Attwood、Frits van Houts、John Taylor、John Carruthers、Bill Siegle、Stefan Wurm、嚴濤南、蔣尚義，以及其他幾位要求不具名的微影成像專家，本章結論皆與這些專家無涉。

2 「微影製程戰」：Mark L. Schattenburg, "History of the 'Three Beams' Conference, the Birth of the Information and the Era of Lithography Wars," https://eipbn.org/2020/wp-content/up10ads/2015/01/EIPBN_history.pdf.

3 還是別無選擇了：Peter Van Den Hurk, "Farewell to a 'Big Family of Top Class People,'" ASML, April 23, 2021, https://www.asml.com/en/news/stories/2021/frits-van-hout-retires-from-asml.

4 「既沒有設施，也沒有錢」：訪問Frits van Hout, 2021.

5 有深厚的關係：Rene Raiijmakers, "Technology Ownership Is No Birthright," *Bits & Chips*, June 24, 2021.

6 形成了合作關係：訪問Fritz van Hout, 2021; "Lithography Wars (Middle): How Did TSMC's Fire Save the Lithography Giant ASML?" *iNews*, February 5, 2022, https://inf.news/en/news/5620365e89323be681610733c6a32d22.html.

7 「單極時刻」（unipolar moment）：Charles Krauthammer, "The Unipolar Moment," Foreign Affairs, September 18, 1990.

8 「無國界的世界」：Kenichi Ohmae, "Managing in a Borderless World," *Harvard Business Review* (May-June 1989).

9 英特爾每年都有獲利：根據Bloomberg的資料.

10 「95%的大猩猩」：訪問John Taylor, 2021.

11 幾乎沒有人對此感到擔憂：Chuck Gwyn and Stefan Wurm, "EUV LLC: A Historical Perspective," in Bakshi, ed., *EUV Lithography* (SPIE, 2008);訪問John Carruthers與John Taylor, 2021.

12 ASML成了僅剩的微影成像公司：訪問Kenneth Flamm與Richard Van Atta, 2021.

13 而不是地緣政治：David Lammers, "U.S. Gives Ok to ASML on EUV," *EE Times*, February 24, 1999; 這篇媒體報導提到ASML與美國政府的一項協定。根據該協定，ASML承諾在美國生產部分機器。我採訪美國的官員或ASML，都無法證實有這種承諾，雖然多位以前的官員表示，這項協定聽起來似乎有道理，但可能是非正式的，而不是正式的。ASML目前在康乃狄克州的一家製造廠生產每台EUV機台的一部分，所以如果真有此承諾的話，它似乎有信守承諾。

14 政治考量有發揮多大的效果：我的訪問對象中，沒有人認為外交政策因素對這個決定非常重要。許多人表示，他們不記得討論過這個議題。

15 所有的EUV技術：Don Clark and Glenn Simpson, "Opponents of SVG Sale to Dutch Worry About Foreign Competition," *Wall Street Journal*, April 26, 2001; 訪問微影成像業的專家, 2021; 訪問Dick Van Atta, 2021; 訪問前商務部的官員, 2021.

16 而EUV並沒有上榜：Clark and Simpson, "Opponents of SVG Sale to Dutch Worry About Foreign Competition."

17 不同國家的科學家：訪問John Taylor, 2021.

第三十三章　創新者的兩難

1 英特爾已經準備好了：“First Intel Mac (10 Jan 2006),” all about Steve Jobs.com, YouTube Video, September 18, 2009, https://www.youtube.com/watch7v=cp49Tmmtmf8.

2 也愈來愈常打領帶：訪問英特爾的資深高管, 2021.

3 壟斷地位：Alexis C. Madrigal, “Paul Otellini's Intel: Can the Company That Built the Future Survive It?” *Atlantic*, May 16, 2013; 訪問英特爾的四位前高管, 2021.

4 保衛城堡的護城河是x86：訪問Michael Bruck, 2021.

5 獲得了近乎壟斷的地位：Kurt Shuler, “Semiconductor Slowdown? Invest!” *Semiconductor Engineering*, January 26, 2012.

6 「這是我們唯一的機會。」：訪問Robin Saxby, 2021; “Sir Robin Saxby: The ARM Architecture Was Invented Inside Acorn Computers,” Anu Partha, YouTube Video, June 1, 2017, https://www.youtube.com/watch7v=jxUT3wE5Kwg; Don Dingee and Daniel Nenni, *Mobile Unleashed: The Origin and Evolution of ARM Processors in Our Devices* (SemiWiki LLC, 2015), esp. p. 42; “Alumnus Receives Top Honour from Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE),” University of Liverpool, May 17, 2019.

7 類似Zoom的視訊會議系統：訪問英特爾的前高管, 2021.

8 似乎是瘋狂的賭注：訪問Ted Odell, 2020, 以及Will Swope, 2021.

9 交易量是任何人所想的100倍：Alexis C. Madrigal, “Paul Otellini's Intel.”

10 在行動裝置領域站穩腳跟的方法：Joel Hruska, “How Intel Lost the Mobile Market, Part 2: The Rise and Neglect of Atom,” *Extreme Tech*, December 3, 2020; Joel Hruska, “How Intel Lost $10 Billion and the Mobile Market,” *Extreme Tech*, December 3, 2020; Mark Lipacis et al., “Semiconductors: The 4th Tectonic Shift in Computing: To a Parallel Processing / IoT Model,” *Jeffries Research Note*, July 10, 2017; 與Michael Bruck及Will Swope的談話幫忙確立了這點; Varas et al., “Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Area.”

11 些許的利潤：訪問英特爾的前高管, 2021.

第三十四章　跑得更快？

1 為勝利而奮戰：Andy Grove, “Andy Grove: How America Can Create Jobs,” *Businessweek*, July 1, 2010.

2 我懷疑他們永遠也趕不上：同前.

3 10億個電晶體：Jon Stokes, “Two Billion-Transistor Beasts: POWER7 and Niagara 3,” *Ars Technica*, February 8, 2010.

4 約四分之三的市場：Wally Rhines, “Competitive Dynamics in the Electronic Design Automation Industry,” *SemiWiki*, August 23, 2019.

5 芮氏7.3級的地震：Mark Veverka, “Taiwan Quake Sends a Wakeup Call, But Effects May Be Short Lived,” *Barron's*, September 27, 1999.

6 第五座的復工時間較長：Jonathan Moore, “Fast Chips, Faster Cleanup,” *BusinessWeek*, October 11, 1999.

7 中斷的影響有限：Baker Li, Dow Jones Newswires, “Shortage in Parts Appears to Fade

Following Earthquake in Taiwan," *Wall Street Journal*, November 9, 1999.

8 全球共經歷了5次這種強度的地震：訪問無晶圓廠公司的高管, 2021; "20 Largest Earthquakes in the World," USGS, https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/20-largest-earthquakes-world?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects.

9 「負責的利益關係者」：Robert Zoellick speech, September 21, 2005, "Whither China? From Membership to Responsibility," National Committee on U.S. China Relations.

10 更遑論依賴中國了：Adam Segal, "Practical Engagement: Drawing a Fine Line for U.S.-China Trade," *Washington Quarterly* 27, No. 3 (January 7, 2010): 162.

11 特殊地位："SMIC Attains Validated End-User Status for U.S. Government," SMIC, October 19, 2007, https://www.smics.com/en/site/news_read/4294.

12 比競爭對手「跑得更快」的策略：關於這個共識的出現，最佳的歷史敘述是Hugo Meijer, *Trading with the Enemy* (Oxford University Press, 2016).

13 但沒人聽進這番警訊：Van Atta et al., "Globalization and the US Semiconductor Industry," Institute for Defense Analyses, November 20, 2007, pp. 2-3.

第三十五章　「真男人要有晶圓廠」

1 可能還會咬死你：Craig Addison, *Silicon Shield* (Fusion PR, 2001), p. 77.

2 最成功的業務員：Peter J. Schuyten, "The Metamorphosis of a Salesman," *New York Times*, February 25, 1979.

3 或更大的處理器上生產：Varas et al., "Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era," p. 18.

4 四分之一：同前, p. 17.

5 類比晶片製造商是德州儀器：Peter Clarke, "Top Ten Analog Chip Makers in 2020," *eeNews*, June 3, 2021.

6 約85%的市占率：Joonkyu Kang, "A Study of the DRAM Industry," Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2010, p. 13.

7 爾必達還是生存困難：Hiroko Tabuchi, "In Japan, Bankruptcy for a Builder of PC Chips," *New York Times*, February 27, 2012.

8 新加坡等國的政府補貼：Varas et al., "Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era," p. 18.

9 囊括35%的市占率：Ken Koyanagi, "SK-Intel NAND Deal Points to Wider Shake-Up of Chip Sector," *Nikkei Asia*, October 23, 2020; "Samsung Electronics Adds NAND Flash Memory Line in Pyeongtaek," *Pulse*, June 1, 2020.

10 真男人要有晶圓廠：John East, "Real Men Have Fabs. Jerry Sanders, TJ Rodgers, and AMD," *SemiWiki*, July 29, 2019.

第三十六章　無廠革命

1 「不是一家真正的半導體公司」：Paul McLellan, "A Brief History of Chips and Technologies," *SemiWiki*, March 19, 2013, https://semiwiki.com/eda/2152-a-brief-history-of-chips-and-technologies/; Interview with Gordon Campbell, 2021.

2 Denny's連鎖餐廳起步：訪問Chris Malachowsky, 2021.

3 移民到肯塔基州：Steve Henn, "Tech Pioneer Channels Hard Lessons into Silicon Valley Success," NPR, February 20, 2012, https://www.npr.org/sections/alltechconsidered/2012/02/20/147162496/tech-pioneer-channels-hard-iessons-into-silicon-valley-success.

4 複雜的3D立體圖："Jen-Hsun Huang," StanfordOnline, YouTube Video, June 23, 2011, https://www.youtube.com/watch?v=Xn1EsFe7snQ.

5 投入大量的資金：Ian Buck, "The Evolution of GPUs for General Purpose Computing," September 20-23, 2010, https://www.nvidia.com/content/GTC-2010/pdfs/2275_GTC2010.pdf; Don Clark, "Why a 24-Year-Old Chipmaker Is One of Tech's Hot Prospects," *New York Times*, September 1, 2017; Pradeep Gupta, "CUDA Refresher: Reviewing the Origins of GPU Computing," Nvidia, April 23, 2020, https://developer.nvidia.com/blog/cuda-refresher-reviewing-the-origins-of-gpu-computing/.

6 龐大的新市場：Ben Thompson, "Apple to Build Own GPU, the Evolution of GPUs, Apple and the General-Purpose GPU," *Stratechery Newsletter*, April 12, 2017; Ben Thompson, "Nvidia's Integration Dreams," Stratechery Newsletter, September 15, 2020.

7 不可能生產手機：Hsiao-Wen Wang, "TSMC Takes on Samsung," *Commonwealth*, May 9, 2013; Timothy B. Lee, "How Qualcomm Shook Down the Cell Phone Industry for Almost 20 years," *Ars Technica*, May 30, 2019.

8 數千萬行的程式碼上：訪問Susie Armstrong, 2021.

9 沒有製造任何晶片：Daniel Nenni, "A Detailed History of Qualcomm," SemiWiki, March 9, 2018; Joel West, "Before Qualcomm: Linkabit and the Origins of San Diego's Telecom Industry," *Journal of San Diego History*, https://sandiegohistory.org/journal/v55-1/pdf/v55-1west.pdf.

10 核心優勢：訪問兩位高通的高管, 2021.

第三十七章　張忠謀的大同盟

1 拆分晶片設計與製造業務：Michael Kanellos, "End of Era as AMD's Sanders Steps Aside," CNET, April 24, 2002; Peter Bright, "AMD Completes Exit from Chip Manufacturing Biz," *Wired*, March 5, 2012.

2 連台積電都擔心落後：訪問蔣尚義, 2021.

3 全球約一半的代工市場：Mark LaPedus, "Will GlobalFoundries Succeed or Fail?" *EE Times*, September 21, 2010, https://www.eetimes.com/will-globalfoundries-succeed-or-fail/.

4 脫穎而出：Claire Sung and Jessie Shen, "TSMC 40nm Yield Issues Resurface, CEO Promises Fix by Year-End," Digitimes, October 30, 2009; Mark LaPedus, "TSMC Confirms 40-nm Yield Issues, Gives Predictions," *EE Times*, April 30, 2009.

5 就像電梯沿著空井滑落：訪問Rick Cassidy, 2022.

6 最大市占率：Russell Flannery, "Ageless and Peerless in an Era of Fabless," Forbes, December 9, 2012; Hsiao-Wen Wang, "TSMC Takes on Samsung," *Commonwealth*, May 9, 2013.

7 將難以與之匹敵：Wang, "TSMC Takes on Samsung."

8 公司陷入停滯不前的狀態：Flannery, "Ageless and Peerless in an Era of Fabless."

9 親自重掌兵符：Lisa Wang, “TSMC Reshuffle Stuns Analysts,” *Taipei Times*, June 12, 2009; Yin-chuen Wu and Jimmy Hsiung, “I'm Willing to Start from Scratch,” *Commonwealth*, June 18, 2009.

10 「產能太多比產能不足」更好：Robin Kwong, “Too Much Capacity Better Than Too Little for TSMC,” *Financial Times*, June 24, 2010.

11 我們才剛剛開始：Flannery, “Ageless and Peerless in an Era of Fabless.”

第三十八章　蘋果矽

1 什麼是軟體？Dag Spicer, “Steve Jobs: From Garage to World's Most Valuable Company,” Computer History Museum, December 2, 2011; I was directed to this by Steve Cheney, “1980: Steve Jobs on Hardware and Software Convergence,” *Steve Cheney—Technology, Business, and Strategy*, August 18, 2013.

2 其他的晶片：關於這些iPhone 1拆解的細節，參見Jonathan Zdziarski, “Chapter 2. Understanding the iPhone,” O'Reilly, https://www.oreilly.com/library/view/iphone-forensics/9780596153588/ch02.html; “iPhone 1st Generation Teardown,” *IFIXIT*, June 29, 2007.

3 新的iPad與iPhone 4中：Bryan Gardiner, “Four Reasons Apple Bought PA Semi,” *Wired*, April 23, 2000; Brad Stone, Adam Satariano, and Gwen Ackerman, “The Most Important Apple Executive You've Never Heard Of,” *Bloomberg*, February 18, 2016.

4 運作得那麼順暢：Ben Thompson, “Apple's Shifting Differentiation,” *Stratechery*, November 11, 2020; Andrei Frumusanu, “Apple Announces the Apple Silicon M1: Ditching x86—What to Expect, Based on A14,” AnandTech, November 10, 2020.

5 六成以上：Harald Bauer, Felix Grawert, and Sebastian Schink, “Semiconductors for Wireless C ommunications: Growth Engine of the Industry,” McKinsey & Company (Autumn 2012): Exhibit 2.

6 組裝在一起：Harrison Jacobs, “Inside ‘iPhone City,’ the Massive Chinese Factory Town Where Half of the World's iPhones Are Produced,” *Business Insider*, May 7, 2018.

7 在越南與印度組裝：Yu Nakamura, “Foxconn Set to Make iPhone 12 in India, Shifting from China,” *Nikkei Asia*, March 11, 2021.

第三十九章　極紫外光微影製程

1 40億美元：Dylan McGrath, “Intel Again Cuts Stake in ASML,” *EE Times*, October 12, 2018.

2 「解決一個不可能的問題」：訪問, 2021.

3 吸出熱量：訪問兩位創浦的高管, 2021.

4 每秒直接命中數百萬次：“TRUMPF Laser Amplifier,” Trumpf, https://www.trumpf.com/enUS/products/laser/euv-drive-laser/.

5 每個雷射器都需要457,329個元件：訪問兩位創浦的高管, 2021; Mark Lourie, “II-VI Incorporated Expands Manufacturing Capacity of Diamond Windows for TRUMPF High Power CO2 Lasers in EUV Lithography,” GlobeNewswire, December 19, 2018, https://www.globenewswire.com/news-release/2018/12/19/1669962/11543/en/n-VI-Incorporated-Expands-Manufacturing-Capacity-of-Diamond-Windows-for-TRUMPF-High-Power-CO2-Lasers-in-EUV-Lithography.html.

6 1998年發表的一篇論文中指出：C. Montcalm, “Multilayer Reflective Coatings for Extreme-Ultraviolet Lithography,” Department of Energy Office of Scientific and Technical Information, March 10, 1998, https://www.osti.gov/servlets/purl/310916.

7 擊中遠在月球的高爾夫球：“Interview with Dr. Peter Kurz: ‘Hitting a Golf Ball on the Moon,’” *World of Photonics*, https://world-of-photonics.com/en/newsroom/photonics-industry-portal/photonics-interview/dr-peter-kuerz/; “ZEISS—Breaking New Ground for the Microchips of Tomorrow,” ZEISS Group, YouTube Video, August 2, 2019, https://www.youtube.com/watch?v=XeDCrlxBtTw.

8 「就像設計一台機器」一樣：“Responsible Supply Chain: Setting the Bar Higher for the High-Tech Industry,” ASML, https://www.asml.com/en/company/sustainability/responsible-supply-chain; interview with Frits van Houts, 2021.

9 資助蔡司的研發流程：“Press Release: ZEISS and ASML Strengthen Partnership for Next Generation of EUV Lithography Due in Early 2020s,” ASML, November 3, 2016, https://www.asml.com/en/news/press-releases/2016/zeiss-and-asml-strengthen-partnership-for-next-generation-of-euv-lithography.

10 直接把你們的公司買下來：訪問ASML供應商的高管, 2021.

11 平均至少使用3萬個小時：Igor Fomenkov et al., “Light Sources for High-Volume Manufacturing EUV Lithography: Technology, Performance, and Power Scaling,” *Advanced Optical Technologies 6*, Issue 3-4 (June 8, 2017).

12 最終會產生一個X：這裡對運算微影製程的描述是引用自Jim Keller, “Moore's Law Is Not Dead,” UC Berkeley EECS Events, YouTube Video, September 18, 2019, https://www.youtube.com/watch?v=oIG9ztQw2Gc.

13 美國生產的關鍵設備：“Trumpf Consolidates EUV Lithography Supply Chain with Access Laser Deal,” Optics.org, October 4, 2017, https://optics.org/news/8/10/6.

第四十章　「沒有替代方案」

1 「沒有替代方案。」：Anthony Yen, “Developing EUV Lithography for High Volume Manufacturing—A Personal Journey,” IEEE Technical Briefs, https://www.ieee.org/ns/periodicals/EDS/EDS-APRIL-2021-HTML-V2/InnerFiles/LandPage.html.

2 他們的配偶也不會抱怨：訪問蔣尚義, 2021.

3 測試與改進EUV機台：Lisa Wang, “TSMC Stalwart Takes SMIC Role,” Taipei Times, December 22, 2016; Jimmy Hsiung, “Shang-yi Chiang: Rallying the Troops,” *CommonWealth*, December 5, 2007; 訪問蔣尚義與嚴濤南, 2021.

4 特許半導體：Timothy Prickett Morgan, “AMD's GlobalFoundries Consumes Chartered Semi Rival,” *Register*, January 14, 2010.

5 一個倒金字塔：訪問IBM的前高管, 2021.

6 把晶片部門賣給了格芯：訪問兩位半導體業的高管, 2021.

7 約10%的代工市占率：“Apple Drove Entire Foundry Sales Increase at TSMC in 2015,” *IC Insights*, April 26, 2016.

8 格芯僅70萬：“Samsung, TSMC Remain Tops in Available Wafer Fab Capacity,” *IC Insights*, January 6, 2016. 這個數字計算的每月晶圓是200 mm（8吋）晶圓。當時，該產業的最先進

製程正轉向300　　mm（12吋）晶圓，每片晶圓可容納的晶片數量約為兩倍。因此，以300 mm晶圓來算的每月晶圓較少。

9 14奈米製程的授權：Peter Bright, “AMD Completes Exit from Chip Manufacturing Biz,” *Wired*, March 5, 2012.

10 取消EUV計畫：訪問三位格芯的前高管，其中一位主要談EUV, 2021; 關於研發支出，參見GlobalFoundries’ IPO prospectus, Security and Exchange Commission, October 4, 2021, p. 81, https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/0001709048/000119312521290644/d192411df1.htm. 亦參見Mark Gilbert, “Q4 Hiring Remains Strong Outlook for Q1 2019,” *SemiWiki*, November 4, 2018, https://semiwiki.com/semiconductor-manufacturers/globalfoundries/7749-globalfoundrie-pivot-explained/q.

第四十一章　英特爾如何忘了創新

1 有更多的機會可以精進製程：Nick Flaherty, “Top Five Chip Makers Dominate Global Wafer Capacity,” *eeNews*, February 11, 2021.

2 高達數百萬美元：Or Sharir, Barak Peleg, and Yoav Shoham, “The Cost of Training NLP Models: A Concise Overview,” *AI21 Labs*, April 2020.

3 美國最有價值的半導體公司：Wallace Witkowski, “Nvidia Surpasses Intel as Largest U.S. Chip Maker by Market Cap,” *MarketWatch*, July 8, 2020.

4 每月10萬美元以上：“Cloud TPU Pricing,” Google Cloud, https://aoud.google.com/tpu/pricing; prices as of November 5, 2021.

5 我們的代工事業：Chris Nuttall, “Chip Off the Old Block Takes Helm at Intel,” *Financial Times*, May 2, 2013.

6 並未獲得優先考量：訪問英特爾代工廠的前高管, 2021.

7 經營短短幾年後就關閉了：Dylan McGrath, “Intel Confirmed as Foundry for Second FPGA Startup,” *EE Times*, February 21, 2012.

8 出了什麼問題：Joel Hruska, “Intel Acknowledges It Was ‘Too Aggressive’ with Its 10nm Plans,” *Extreme Tech*, July 18, 2019.

9 延遲採用EUV機台：訪問Pat Gelsinger, *Bloomberg*, January 19, 2021, https://www.bloomberg.com/news/videos/2022-01-19/intel-ceo-gelsinger-on-year-ahead-for-global-business-video.

10 安裝在台積電：Ian Cutress, “TSMC: We Have 50% of All EUV Installations, 60% Wafer Capacity,” *AnandTech*, August 27, 2020.

第四十二章　中國製

1 就沒有現代化：Rogier Creemers, ed., “Central Leading Group for Internet Security and Informatization Established,” China Copyright and Media, March 1, 2014, https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2014/03/01/central-leading-group-for-internet-security-and-informatization-established/.

2 真正的政治改革的領導人：Evan Osnos, “Xi's American Journey,” *New Yorker*, February 15, 2012.

3 網路上的交流內容：Katie Hunt and CY Xu, “China Employs 2 Million to Police Internet,’” CNN, October 7, 2013.

4 互聯網讓世界變成了地球村：Rogier Creemers, ed., Xi Jinping, “Speech at the Work Conference for Cybersecurity and Informatization,” *China Copyright and Media*, April 19, 2016, https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2016/04/19/speech-at-the-work-conference-for-cybersecurity-and-informatization/, 經翻譯調整.

5 掌握在別人手裡：同前.

6 只配對英特爾的芯片：同前.

7 都需要美國的晶片才能運行：個人電腦中幾乎所有的CPU晶片都是由美國的英特爾或AMD設計，但這兩家公司的晶片都是在其他國家生產。

8 比進口石油的支出還多：關於積體電路（8542）與石油（2709），參見聯合國貿易資料庫Comtrade。

9 充分利用監控技術：Drew Harwell and Eva Dou, “Huawei Tested AI Software That Could Recognize Uighur Minorities and Alert Police, Report Says,” Washington Post, December 8, 2020.

10 英特爾與輝達等美國公司的晶片：Paul Mozur and Don Clark, “China's Surveillance State Sucks Up Data. U.S. Tech Is Key to Sorting It,” *New York Times*, November 22, 2020.

11 建立半導體產業：Oral History of Morris Chang, Computer History Museum.

第四十三章　「把衝鋒號吹起來」

1 沒有人會成為貿易戰的贏家：Anna Bruce-Lockhart, “Top Quotes by China President Xi Jinping at Davos 2017,” World Economic Forum, January 17, 2017, https://www.weforum.org/agenda/2017/01/chinas-xi-jinping-at-davos-2017-top-quotes/.

2 「保護將帶來蓬勃與強大」：“Full Text: 2017 Donald Trump Inauguration Speech Transcript,” *Politico*, January 20, 2017.

3 比美國總統當選人更像總統：Ian Bremmer, “Xi sounding rather more presidential than US president-elect. #Davos,” Twitter, January 17, 2017, https://twitter.com/ianbremmer/status/821304485226119169.

4 習近平力捍全球化：Jamil Anderlini, Wang Feng, and Tom Mitchell, “Xi Jinping Delivers Robust Defence of Globalisation at Davos,” *Financial Times*, January 17, 2017; Xi Jinping, “Full Text of Xi Jinping Keynote at the World Economic Forum,” CGTN, January 17, 2017, https://america.cgtn.com/2017/01/17/full-text-of-xi-jinping-keynote-at-the-world-economic-forum.

5 全球化的希望：Max Ehrenfreund, “World Leaders Find Hope for Globalization in Davos Amid Populist Revolt,” *Washington Post*, January 17, 2017.

6 把目光投向了中國：Isaac Stone Fish, “A Communist Party Man at Davos,” *Atlantic*, January 18, 2017.

7 組成攻關的突擊隊、特種兵：http://politics.people.com.cn/n1/2016/0420/c1001-28291806.html; Creemers, ed., Xi Jinping, “Speech at the Work Conference for Cybersecurity and Informatization.”

8 共產黨官僚與地方政府官員所阻撓：關於習近平的無能為力vs.現狀，參見Daniel H. Rosen,

"China's Economic Reckoning," *Foreign Affairs*, July-August 2021.

9 市場份額加速向優勢企業集中：China's State Council report, "Outline for Promoting the Development of the National Integrated Circuit Industry," http://www.csia.net.cn/Article/ShowInfo.asp?InfoID=88343.

10 資料顯示：Saif M. Khan, Alexander Mann, and Dahlia Peterson, "The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness," Center for Security and Emerging Technology, January 2021, p. 8, https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf.

11 取得這類晶片：Saif M. Khan and Alexander Mann, "AI Chips: What They Are and Why They Matter," Center for Security and Emerging Technology, April 2020, pp. 29-31, https://cset.georgetown.edu/publication/ai-chips-what-they-are-and-why-they-matter/.

12 亦即把晶片自給率提升至70%："China Forecast to Fall Far Short of Its 'Made in China 2025' Goals for ICs," *IC Insights*, January 6, 2021, https://www.icinsights.com/news/bulletins/China-Forecast-To-Fall-Far-Short-Of-Its-Made-In-China-2025-Goals-For-ICs/

13 中國政府取代了民間投資者："Dr. Zixue Zhou Appointed as Chairman of SMIC," press release, SMIC, March 6, 2015, http://www.smics.com/en/site/news_read/4539; Doug Fuller, *Paper Tigers, Hidden Dragons* (Oxford University Press, 2016) 記錄了政府影響力增加的早期階段。

14 遍布全國的低效小廠：訪問一家中國代工廠的前執行長, 2021; Fuller, *Paper Tigers, Hidden Dragons*.

15 『我們一起來賠錢吧。』：訪問歐洲半導體業的高管, 2020.

16 市政府的投資機構：Barry Naughton, *Rise of China's Industrial Policy, 1978 to 2020* (Academic Network of Latin America and the Caribbean on China, 2021), p. 114.

17 國家支持的「創投」新模式：Arthur Kroeber, "The Venture Capitalist State," *GaveKal Dragonomics*, March 2021.

18 只有政府有本錢冒這種風險：Dieter Ernest, F*rom Catching Up to Forging Ahead: China's Policies for Semiconductors* (East West Center, 2015), p 19.

19 降低中國使用的外國晶片比例：Luffy Liu, "Countdown: How Close Is China to 40% Chip Self-Sufficiency?" *EE Times*, April 11, 2019.

20 「紅色供應鏈」：https://www.cw.com.tw/article/5053334; https://www.twse.com.tw/ch/products/publication/download/0003000156.pdf. Thanks to Wei-Ting Chen for help translating these documents.

第四十四章　技術轉移

1 IBM覺得那是很好的機會：David Wolf, "Why Buy the Hardware When China Is Getting the IP for Free?" *Foreign Policy*, April 24, 2015.

2 與美國的網路監控單位有合作關係：IBM denied giving the National Security Agency any client data; Claire Cain Miller, "Revelations of N.S.A. Spying Cost U.S. Tech Companies," *New York Times*, March 21, 2014; Sam Gustin, "IBM: We Haven't Given the NSA Any Client Data," *Time*, March 14, 2014.

3 一系列重大的經濟改革：Matthew Miller, "IBM's CEO Visits China for Trust-Building Talks

with Govt Leaders: Sources," Reuters, February 12, 2014.

4 中國高層官員：See July 2014 meeting with Beijing mayor, IBM News, "Today, #IBM CEO Ginni Rometty met with Beijing Mayor Wang Anshun at the Beijing Convention Center in #China.[PHOTO]," Twitter, July 9, 2014, https://mobile.twitter.com/ibmnews/status/486873143911669760; 2016 meeting with Li Keqiang, "Ginni Rometty of IBM Meets Chinese Premier Li Keqiang," Forbes, October 22, 2016.

5 資訊安全的承諾：Miller, "IBM's CEO Visits China for Trust-Building Talks with Govt Leaders: Sources."

6 「加強集成電路領域的合作交換」："Chinese Vice Premier Meets IBM President," English.People.CN, November 13, 2014, http://en.people.cn/n/2014/1113/c90883-8808371.html.

7 市占率很小：Timothy Prickett Morgan, "X86 Servers Dominate the Datacenter——for Now," *Next Platform*, June 4, 2015.

8 國產的電腦系統：Paul Mozur, "IBM Venture with China Stirs Concerns," *New York Times*, April 19, 2015.

9 「巨大的安全風險」：同前.

10 主要收入來源："China Deal Squeezes Royalty Cuts from Qualcomm," *EE Times*, February 10, 2015.

11 先進晶片的經驗：Chen Qingqing, "Qualcomm's Failed JV Reveals Poor Chipset Strategy Amid Rising Competition: Insiders," *Global Times*, April 22, 2019; Aaron Tilley, Wayne Ma, and Juro Osawa, "Qualcomm's China Venture Shows Risks of Beijing's Tech Ambition," *Information*, April 3, 2019; Li Tao, "Qualcomm Said to End Chip Partnership with Local Government in China's Rural Guizhou Province," *South China Morning Post*, April 19, 2019.

12 該聯盟的一員："Server and Cloud Leaders Collaborate to Create China-Based Green Computing Consortium," Arm, April 15, 2016, https://www.arm.com/company/news/2016/04/server-and-cloud-leaders-collaborate-to-create-china-based-green-computing-consortium.

13 跳槽到飛騰：See "Wei Li," LinkedIn, https://www.iinkedin.com/in/wei-li-8b0490b/?originalSubdomain＝cn; Ellen Nakashima and Gerry Shih, "China Builds Advanced Weapons Systems Using American Chip Technology," *Washington Post*, April 9, 2021.

14 「世界級的」："AMD and Nantong Fujitsu Microelectronics Co., Ltd. Close on Semiconductor Assembly and Test Joint Venture," AMD, April 29, 2016,

15 達成一項協議：這家與AMD成立的合資企業中，投資者之一是中國的國營機構中國科學院; see Ian Cutress and Wendell Wilson, "Testing a Chinese x86 CPU: A Deep Dive into Zen-Based Hygon Dhyana Processors," *AnandTech*, February 27, 2020.

16 「對微處理器、半導體或中國一無所知」：訪問晶片業的業內人士, 2021.

17 並不是依賴授權協議的資金：訪問Stacy Rasgon, 2021.

18 只是在微調AMD的設計：訪問一名業內人士與一名前美國官員, 2021; Don Clark, "AMD to License Chip Technology to China Chip Venture," *Wall Street Journal*, April 21, 2016; Usman Pirzada, "No, AMD Did Not Sell the Keys to the x86 Kingdom—Here's How the

Chinese Joint Venture Works," *Wccftech*, June 29, 2019; Cutress and Wilson, "Testing a Chinese x86 CPU"; Stewart Randall, "Did AMD Really Give Away 'Keys to the Kingdom'?" *TechNode*, July 10, 2019.

19 「根本使命」：Kate O'Keeffe and Brian Spegele, "How a Big U.S. Chip Maker Gave China the 'Keys to the Kingdom,'" *Wall Street Journal*, June 27, 2019.

20 肯定會引起華府的懷疑："AMD EPYC Momentum Grows with Datacenter Commitments from Tencent and JD.com, New Product Details from Sugon and Lenovo," press release, AMD, August 23, 2017, https://ir.amd.com/news-events/press-releases/detail/788/amd-epyc-momentum-grows-with-datacenter-commitments-from; 訪問前美國官員, 2021.

21 「核武與高超音速武器」：Craig T imberg and Ellen N akashima, "Supercomputing Is Latest Front in U.S.-China High-Tech Battle," *Washington Post*, June 21, 2019; Industry and Security Bureau, "Addition of Entities to the Entity List and Revision of an Entry on the Entity List," Federal Register, June 24, 2019, https://www.federalregister.gov/documents/2019/06/24/2019-13245/addition-of-entities-to-the-entity-list-and-revision-of-an-entry-on-the-entity-list; Michael Kan, "US Tries to Thwart China's Work on Exascale Supercomputer by Blocking Exports," *PC Mag*, April 8, 2021.

22 它與中國軍方的關連："Statement of Elsa Kania," in "Hearing on Technology, Trade, and Military-Civil Fusion: China's Pursuit of Artificial Intelligence, New Materials, and New Energy," U.S.-China Economic and Security Review Commission, June 7, 2019, p. 69, https://www.uscc.gov/sites/default/files/2019-une%207,%202019%20Hearing%20Transcript.pdf.

23 是如何取得AMD晶片的：Anton Shilov, "Chinese Server Maker Sugon Has Its Own Radeon Instinct MI50 Compute Cards (Updated)," Tom's Hardware, October 15, 2020, https://www.tomshardware.com/news/chinese-server-maker-sugon-has-its-own-radeon-instinct-mi50-compute-cards. 我請AMD的一名代表提供AMD與曙光關係的相關資訊，但未獲得回應。

24 中國政府的政治施壓：Alexandra Alper and Greg Roumeliotis, "Exclusive: U.S. Clears SoftBank's $2.25 Billion Investment in GM-Backed Cruise," Reuters, July 5, 2019; Dan Primack, "SoftBank's CFIUS Workaround," *Axios*, November 29, 2018; Heather Somerville, "SoftBank Picking Its Battles with U.S. National Security Committee," Reuters, April 11, 2019.

25 51%的股份：Cheng Ting-Fang, Lauly Li, and Michelle Chan, "How SoftBank's Sale of Arm China Sowed the Seeds of Discord," *Nikkei Asia*, June 16, 2020; "Inside the Battle for Arm China," *Financial Times*, June 26, 2020.

26 以前，那是我們做不到的：Cheng Ting-Fang and Debby Wu, "ARM in China Joint Venture to Help Foster 'Secure' Chip Technology," *Nikkei Asia*, May 30, 2017.

第四十五章　「合併勢必會發生」

1 晶片億萬富豪：Nobutaka Hirooka, "Inside Tsinghua Unigroup, a Key Player in China's Chip Strategy," *Nikkei Asia*, November 12, 2020; "University's Deal Spree Exposes Zhao as Chip Billionaire," *China Daily*, March 25, 2015.

2 踏上累積億萬財富之路：Hirooka, "Inside Tsinghua Unigroup"； Yue Wang, "Meet Tsinghua's Zhao Weiguo, the Man Spearheading China's Chip Ambition," *Forbes*, July 29,

2015.

3 與趙偉國有私交：Kenji Kawase, “Was Tsinghua Unigroup's Bond Default a Surprise?” Nikkei Asia, December 4, 2020; Eva Dou, “China's Biggest Chip Maker's Possible Tie-Up with H-P Values Unit at Up to $5 Billion,” *Wall Street Journal*, April 15, 2015; Wang, “Meet Tsinghua's Zhao Weiguo”; Yue Wang, “Tsinghua Spearheads China's Chip Drive,” *Nikkei Asia*, July 29, 2015.

4 習近平的大學室友：Dieter Ernst, “China's Bold Strategy for Semiconductors—Zero-Sum Game or Catalyst for Cooperation?” East-West Center, September 2016; Willy Wo-Lap Lam, “Members of the Xi Jinping Clique Revealed,” The Jamestown Foundation, February 7, 2014; Chen Xi stepped down as Tsinghua University president at the end of 2008.

5 所有的交易都是市場導向的：Wang, “Meet Tsinghua's Zhao Weiguo.”

6 但你不會知道：Dou, “China's Biggest Chip Maker's Possible Tie-Up with H-P Values Unit at Up to $5 Billion.”

7 依然令人咋舌：Zijing Wu and Jonathan Browning, “China University Deal Spree Exposes Zhao as Chip Billionaire,” *Bloomberg*, March 23, 2015.

8 任何綜效已經出現：Saabira Chaudhuri, “Spreadtrum Communications Agrees to $1.78 Billion Takeover,” *Wall Street Journal*, July 12, 2013.

9 與英特爾達成一項協定：“Intel and Tsinghua Unigroup Collaborate to Accelerate Development and Adoption of Intel-Based Mobile Devices,” news release, Intel Newsroom, September 25, 2014, https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-and-tsinghua-unigroup-collaborate-to-accelerate-development-and-adoption-of-intel-based-mobile-devices/#gs.7y1hjm.

10 中國的「國家重點」：Eva Dou and Wayne Ma, “Intel Invests $1.5 Billion for State in Chinese Chip Maker,” *Wall Street Journal*, September 26, 2014; Cheng Ting-Fang, “Intel's 5G Modem Alliance with Beijing-Backed Chipmaker Ends,” *Nikkei Asia*, February 26, 2019.

11 接受240億美元：Paul McLellan, “Memory in China: XMC,” *Cadence*, April 15, 2016, https://community.cadence.com/cadence_blogs_8/b/breakfast-bytes/posts/china-memory-2; “China's Tsinghua Unigroup to Build $30 Billion Nanjing Chip Plant,” Reuters, January 19, 2017; Eva Dou, “Tsinghua Unigroup Acquires Control of XMC in Chinese-Chip Deal,” *Wall Street Journal*, July 26, 2016.

12 也投資房地產與線上博奕：Josh Horwitz, “Analysis: China's Would-Be Chip Darling Tsinghua Unigroup Bedevilled by Debt and Bad Bets,” Reuters, January 19, 2021.

13 逾10億美元的計畫：Dou, “China's Biggest Chip Maker's Possible Tie-Up with H-P Values Unit at Up to $5 Billion.”

14 台灣半導體業的高管：Josephine Lien and Jessie Shen, “Former UMC CEO to Join Tsinghua Unigroup,” *Digitimes Asia*, January 10, 2017; Matthew Fulco, “Taiwan Chipmakers Eye China Market,” *Taiwan Business Topics*, February 8, 2017, https://topics.amcham.com.tw/2017/02/taiwan-chipmakers-eye-china-market/.

15 成立合資企業：Debby Wu and Cheng Ting-Fang, “Tsinghua Unigroup-SPIL Deal Axed on Policy Worries,” *Nikkei Asia*, April 28, 2016.

16 台灣的重要企業：Peter Clarke, “China's Tsinghua Interested in MediaTek,” *EE News*, November 3, 2015.

17 禁止進口台灣的晶片：Simon Mundy, “Taiwan's Chipmakers Push for China Thaw,” *Financial Times*, December 6, 2015; Zou Chi, TNL Media Group, November 3, 2015, https://www.thenewslens.com/article/30138.

18 而且對股東有利：Cheng Ting-Fang, “Chipmaker Would Sell Stake to China ‘If the Price Is Right,’” *Nikkei Asia*, November 7, 2015.

19 就不是那麼容易了：J. R. Wu, “Chinese Investors Should Not Get Board Seats on Taiwan Chip Firms—TSMC Chief,” Reuters, June 7, 2016.

20 在全球晶片業的地位與競爭力」的努力：J. R. Wu, “Taiwan's Mediatek Says Open to Cooperation with China in Chip Sector,” Reuters, November 2, 2015.

21 無法逃避這個議題：Ben Bland and Simon Mundy, “Taiwan Considers Lifting China Semiconductor Ban,” *Financial Times*, November 22, 2015.

22 晶片廠商美光：Eva Dou and Don Clark, “State-Owned Chinese Chip Maker Tsinghua Unigroup Makes $23 Billion Bid for Micron,” *Wall Street Journal*, July 14, 2015.

23 美國政府的安全考量：訪問兩位前資深官員, 2021.

24 以37億美元：Eva Dou and Don Clark, “Arm of China-Controlled Tsinghua to Buy 15% Stake in Western Digital,” *Wall Street Journal*, September 30, 2015.

25 沒有想要收購萊迪思的意圖：Eva Dou and Robert McMillan, “China's Tsinghua Unigroup Buys Small Stake in U.S. Chip Maker Lattice,” *Wall Street Journal*, April 14, 2016.

26 萊迪思的持股：Ed Lin, “China Inc. Retreats from Lattice Semiconductor,” *Barron's*, October 7, 2016.

27 凱橋獲得中國政府的祕密資助：Liana Baker, Koh Gui Qing, and Julie Zhu, “Chinese Government Money Backs Buyout Firm's Deal for U.S. Chipmaker,” Reuters, November 28, 2016. 中國政府擁有的中國國新控股有限公司（China Reform Holding）是凱橋的關鍵投資者; see Junko Yoshida, “Does China Have Imagination? *EE Times*, April 14, 2020.

28 進想科技（Imagination）：Nick Fletcher, “Imagination Technologies Jumps 13% as Chinese Firm Takes 3% Stake,” *Guardian*, May 9, 2016.

29 遭到美國政府的阻擋：“Canyon Bridge Confident Imagination Deal Satisfies UK Government,” *Financial Times*, September 25, 2017; Turner et al., “Canyon Bridge Is Said to Ready Imagination Bid Minus U.S. Unit,” Bloomberg, September 7, 2017.

30 重組董事會時：Nic Fides, “Chinese Move to Take Control of Imagination Technologies Stalls,” *Financial Times*, April 7, 2020.

31 被判內線交易罪：“USA v. Chow,” https://www.corporatedefensedisputes.com/wp-content/uploads/sites/19/2021/04/United-States-v.-Chow-2d-Cir.-Apr.-6-2021.pdf; “United States of America v. B enj amin Chow,” https://www.justice.gov/usao-sdny/press-release/file/1007536/download; Jennifer Bennett, “Canyon Bridge Founder's Insider Trading Conviction Upheld,” *Bloomberg Law*, April 6, 2021.

32 政治脈絡來看待：Wang, “Meet Tsinghua's Zhao Weiguo.”

33 新的「投資」：Sijia Jang, “China's Tsinghua Unigroup Signs Financing Deal for Up to 150 Bln Yuan,” Reuters, March 28, 2017.

第四十六章　華為的崛起

1 確實有據可查：Chairman Mike Rogers and Ranking Member C. A. Dutch Ruppersberger, “Investigative Report on the U.S. National Security Issues Posed by Chinese Telecommunications Companies Huawei and ZTE,” Permanent Select Committee on Intelligence, U.S. House of Representatives, October 8, 2012, https://republicans-intelligence.house.gov/sites/intelligence.hcuse.gsv/files/decuments/huawei-zte%20investigative%20report%20(final).pdf, pp. 11-25.

2 服裝合成纖維的工廠工作：William Kirby et al., “Huawei: A Global Tech Giant in the Crossfire of a Digital Cold War,” Harvard Business School Case N-1-320-089, p. 2.

3 製造交換設備：Kirby et al., “Huawei”; Jeff Black, Allen Wan, and Zhu Lin, “Xi Jinping's Tech Wonderland Runs into Headwinds,” *Bloomberg*, September 29, 2020.

4 美國競爭對手思科（Cisco）：Scott Thurm, “Huawei Admits Copying Code from Cisco in Router Software,” *Wall Street Journal*, March 24, 2003.

5 據傳華為因此受益：Tom Blackwell, “Exclusive: Did Huawei Bring Down Nortel? Corporate Espionage, Theft, and the Parallel Rise and Fall of Two Telecom Giants,” *National Post*, February 20, 2020.

6 年度研發預算約為150億美元：Nathaniel Ahrens, “China's Competitiveness,” Center for Strategic and International Studies, February 2013, https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/legacy_$les/$les/publication/130215_competitiveness_Huawei_casestudy_Web.pdf

7 到美國參訪：Tian Tao and Wu Chunbo, *The Huawei Story* (Sage Publications Pvt. Ltd., 2016), p. 53.

8 落後了一百年：訪問對象之前是IBM顧問，後來成為華為員工, 2021.

9 勝利是軍人的最大奉獻：Raymond Zhong, “Huawei's ‘Wolf Culture’ Helped It Grow, and Got It into Trouble,” *New York Times*, December 18, 2018.

10 從中學習商業啟示：“Stanford Engineering Hero Lecture: Morris Chang in Conversation with President John L. Hennessy,” Stanford Online, YouTube Video, April 25, 2014, https://www.youtube.com/watch?v=wEh3ZgbvBrE.

11 總額高達750億美元：Chuin-Wei Yap, “State Support Helped Fuel Huawei's Global Rise,” *Wall Street Journal*, December 25, 2019.

12 曾造訪該公司：Ahrens, “China's Competitiveness.”

13 民主黨或共和黨」一樣：Tao and Chunbo, *The Huawei Story*, p. 58; Mike Rogers and Dutch Ruppersberger, “Investigative Report on the U.S. National Security Issues Posed by Chinese Telecommunications Companies Huawei and ZTE,” U.S. House of Representatives, October 8, 2012, https://stacks.stanford.edu/file/druid:rm226yb7473/Huawei-ZTE%20Investigative%20Report%20(FINAL).pdf.

14 盡量改由內部設計：訪問對象之前是IBM顧問，後來成為華為員工, 2021.

15 成為台積電的第二大客戶：Cheng Ting-Fang and Lauly Li, "TSMC Halts New Huawei Orders After US Tightens Restrictions," *Nikkei Asia*, May 18, 2020.

第四十七章　5G未來

1 如衣櫃大小的開關設備：訪問Ken Hunkler, 2021.

2 而且更省電：訪問Dave Robertson, 2021.

3 「類似智慧型手機」：Spencer Chin, "Teardown Reveals the Tesla S Resembles a Smartphone," *Power Electronics*, October 28, 2014.

4 價格又有競爭力的設備：Ray Le Maistre, "BT's McRae: Huawei Is 'the Only True 5G Supplier Right Now,'" *Light Reading*, November 21, 2018.

5 做了一項研究：Norio Matsumoto and Naoki Watanabe, "Huawei's Base Station Teardown Shows Dependence on US-Made Parts," *Nikkei Asia*, October 12, 2020.

第四十八章　下一個抵銷

1 「心理核戰」：Liu Zhen, "China-US Rivalry: How the Gulf War Sparked Beijing's Military Revolution," *South China Morning Post*, January 18, 2021; 亦參見Harlan W. Jencks, "Chinese Evaluations of 'Desert Storm': Implications for PRC Security," *Journal of East Asian Affairs* 6, No. 2 (Summer/Fall 1992): 447-477.

2 成為全球AI超級大國："Final Report," National Security Commission on Artificial Intelligence, p. 25.

3 已經至少10年了：Elsa B. Kania, "'AI Weapons' in China's Military Innovation," Global China, Brookings Institution, April 2020.

4 三大要件：Ben Buchanan, "The AI Triad and What It Means for National Security Strategy," Center for Security and Emerging Technology, August 2020.

5 沒有任何的先天優勢：Matt Sheehan, "Much Ado About Data: How America and China Stack Up," MacroPolo, July 16, 2019, https://macropolo.org/ai-data-us-china/?rp=e.

6 頂尖AI研究人員："The Global AI Talent Tracker," MacroPolo, https://macropolo.org/digital-projects/the-global-ai-talent-tracker/.

7 由輝達設計：White Paper on China's Computing Power Development Index," tr. Jeffrey Ding, China Academy of Information and Communications Technology, September 2021, https://docs.google.com/documenVd/1Mq5vpZQe7nrKgkYJA2-yZNV1Eo8swh_w36TUEzFWIWs/edit#, 原始中文來源：http://www.caict.ac.cn/kXyj/qwfb/bps/202109/t20210918_390058.htm.

8 遭美國出口管制的公司：yan Fedasiuk, Jennifer Melot, and Ben Murphy, "Harnessed Lightning: How the Chinese Military Is Adopting Artificial Intelligence," CSET, October 2021, https: // cset.georgetown.edu/publication/harnessed-lightning/, esp. fn 84; on civil military fusion, see Elsa B. Kania and Lorand Laskai, "Myths and Realities of China's Military-Civil Fusion Strategy," Center for a New American Security, January 28, 2021.

9 才會勝出：Gian Gentile, Michael Shurkin, Alexandra T. Evans, Michelle Grise, Mark

Hvizda, and Rebecca Jensen, “A History of the Third Offset, 2014-2018,” Rand Corporation, 2021; “Remarks by Deputy Secretary Work on Third Offset Strategy,” U.S. Department of Defense, April 28, 2016.

10 能夠相互溝通及協調：“DARPA Tiles Together a Vision of Mosaic Warfare,” Defense Advanced Research Projects Agency, https://www.darpa.mil/work-with-us/darpa-tiles-together-a-vision-of-mosiac-warfare.

11 「人機協作」的研究專案：“Designing Agile Human-Machine Teams,” Defense Advanced Research Projects Agency, November 28, 2016, https://www.darpa.mil/program/2016-11-28.

12 出於安全考量：Roger N. McDermott, “Russia's Electronic Warfare Capabilities to 2025,” International Centre for Defence and Security, September 2017; “Study Maps ‘Extensive Russian GPS Spoofing,’ ” BBC News, April 2, 2019.

13 替代導航系統：“Adaptable Navigation Systems (ANS) (Archived),” Defense Advanced Research Projects Agency, https://www.darpa.mil/program/adaptable-navigation-systems.

14 偵查與通訊能力：Bryan Clark and Dan Patt, “The US Needs a Strategy to Secure Microelectronics—Not Just Funding,” Hudson Institute, March 15, 2021.

15 新專案：“DARPA Electronics Resurgence Initiative,” Defense Advanced Research Projects Agency, June 28, 2021, https://www.darpa.mil/work-with-us/electronics-resurgence-initiative.

16 電晶體結構的研究：On FinFET, see Tekla S. Perry, “How the Father of FinFETs Helped Save Moore's Law,” *IEEE Spectrum*, April 21, 2020.

17 降至10%到15%：Norman J. Asher and Leland D. Strom, “The Role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits,” *Institute for Defense Analyses*, May 1977, p. 74.

18 可能耗資數億美元：Ed Sperling, “How Much Will That Chip Cost?” *Semiconductor Engineering*, March 27, 2014.

19 分別稱為Spectre和Meltdown：Cade Metz and Nicole Perlroth, “Researchers Discover Two Major Flaws in the World's Computers,” *New York Times*, January 3, 2018.

20 披露了那些漏洞：Robert McMillan and Liza Lin, “Intel Warned Chinese Companies of Chip Flaws Before U.S. Government,” *Wall Street Journal*, January 28, 2018.

21 採取「零信任」：Serge Leef, “Supply Chain Hardware Integrity for Electronics Defense (SHIELD) (Archived),” Defense Advanced Research Projects Agency, https://www.darpa.mil/program/supply-chain-hardware-integrity-for-electronics-defense#:~:text=The%20goal%20of%20DARPA's%20SHIELD,consuming%20to%20be%20cost%20e/ective; “A DARPA Approach to Trusted Microelectronics,” https://www.darpa.mil/attachments/ATrustthroughTechnologyApproach_FINAL.PDF.

22 正逐漸下滑的技術上：“Remarks by Deputy Secretary Work on Third Offset Strategy.”

23 是幾乎不可能的：訪問前美國官員, 2021; Gian Gentile, Michael Shurkin, Alexandra T. Evans, Michelle Grise, Mark Hvizda, and Rebecca Jensen, “A History of the Third Offset, 2014-2018.”

第四十九章　「我們競爭的一切」

1 看到「他眼中明顯的恐懼」時：訪問前美國官員, 2021.

2 把我們都埋了：同前.

3 不認為晶片是重要的問題：同前.

4 備受矚目的演講："U.S. Secretary of Commerce Penny Pritzker Delivers Major Policy Address on Semiconductors at Center for Strategic and International Studies," speech by Penny Pritzker, U.S. Department of Commerce, November 2, 2016.

5 發布了一份報告："Ensuring Long-Term U.S. Leadership in Semiconductors," report to the president, President's Council of Advisors on Science and Technology, January 2017.

6 一概否認：Mike Rogers and Dutch Ruppersberger, "Investigative Report on the U.S. National Security Issues Posed by Chinese Telecommunications Companies Huawei and ZTE," U.S. House of Representatives, October 8, 2012; Kenji Kawase, "ZTE's Less-Known Roots: Chinese Tech Company Falls from Grace," *Nikkei Asia*, April 27, 2018; Nick McKenzie and Angus Grigg, "China's ZTE Was Built to Spy and Bribe, Court Documents Allege," Sydney Morning Herald, May 31, 2018; Nick McKenzie and Angus Grigg, "Corrupt Chinese Company on Telstra Shortlist," *Sydney Morning Herald*, May 13, 2018; "ZTE Tops 2006 International CDMA Market," CIOL Bureau, https://web.archive.org/web/20070927230100/ http://www.ciol.com/ciol-techportal/Content/Mobility/News/2007/20703081355.asp.

7 向伊朗與北韓供應產品：Juro Osawa and Eva Dou, "U.S. to Place Trade Restrictions on China's ZTE," Wall Street Journal, March 7, 2016; Paul Mozur, "U.S. Subpoenas Huawei Over Its Dealings in Iran and North Korea," *New York Times*, June 2, 2016.

8 以另一種方式懲罰中興：訪問兩位歐巴馬政府時期的官員, 2021; Osawa and Dou, "U.S. to Place Trade Restrictions on China's ZTE."

9 在生效以前就取消了：Industry and Security Bureau, "Removal of Certain Persons from the Entity List; Addition of a Person to the Entity List; and EAR Conforming Change," Federal Register, March 29, 2017, https://www.federalregister.gov/documents/2017/03/29/2017-06227/removal-of-certain-persons-from-the-entity-list-addition-of-a-person-to-the-entity-list-and-ear; Brian Heater, "ZTE Pleads Guilty to Violating Iran Sanctions, Agrees to $892 Million Fine," TechCrunch, March 7, 2017.

10 「剽竊我們」：Veronica Stracqualursi, "10 Times Trump Attacked China and Its Trade Relations with the US," ABC News, November 9, 2017.

11 但你也無能為力：訪問四位前資深官員, 2021.

12 這塊基石上：訪問前資深官員, 2021.

13 作為因應中國策略的一部分：同前.

14 引發強烈的反彈：Lucinda Shen, "Donald Trump's Tweets Triggered Intel CEO's Exit from Business Council," *Fortune*, November 9, 2017; Dawn Chmielewski and Ina Fried, "Intel's CEO Planned, Then Scrapped, a Donald Trump Fundraiser," CNBC, June 1, 2016.

15 頭號客戶就是我們的頭號競爭對手：訪問前資深官員, 2021.

16 相對於中國的地位：訪問三位前資深官員, 2021.

17 貿易問題：Chad Bown, Euijin Jung, and Zhiyao Lu, "Trump, China, and Tariffs: From Soybeans to Semiconductors," *Vox EU*, June 19, 2018.

18 違反了認罪協議的條款：Steve Stecklow, Karen Freifeld, and Sijia Jiang, "U.S. Ban on Sales to China's ZTE Opens Fresh Front as Tensions Escalate," Reuters, April 16, 2018.

19 「幾乎無人知曉」：訪問資深官員, 2021.

20 「中國會失去太多工作機會」：Dan Strumpf and John D. McKinnon, "Trump Extends Lifeline to Sanctioned Tech Company ZTE," *Wall Street Journal*, May 13, 2018; Scott Horsley and Scott Neuman, "President Trump Puts 'America First' on Hold to Save Chinese Jobs," NPR, May 14, 2018.

第五十章　福建晉華

1 「清除電腦資料」：這敘述是援引自"United States of America v. United Microelectronics Corporation, et al., Defendant(s)," United States District Court for the Northern District of California, September 27, 2018, https://www.justice.gov/opa/press-release/file/1107251/download and "MICRON TECHNOLOGY, INC.'S COMPLAINT." 聯電對這些指控認罪，以此作為與美國政府和解的一部分。涉案的聯電員工在台灣法院因刑事罪名遭到起訴、罰款、判刑；Office of Public Affairs, "Taiwan Company Pleads Guilty to Trade Secret Theft in Criminal Case Involving PRC State-Owned Company," U.S. Department of Justice, October 28, 2020, https://www.justice.gov/opa/pr/taiwan-company-pleads-guilty-trade-secret-theft-criminal-case-involving-prc-state-owned.

2 逾50億美元的政府資金時：Chuin-Wei Yap and Yoko Kubota, "U.S. Ban Threatens Beijing's Ambitions as Tech Power," *Wall Street Journal*, October 30, 2018.

3 約7億美元的報酬：Chuin-Wei Yap, "Micron Barred from Selling Some Products in China," *Wall Street Journal*, July 4, 2018.

4 但聯電又不產DRAM：在福建晉華一案中，聯電強調其先前在記憶體晶片方面的專業，但其2016年的年報強調：「我們並無意進軍DRAM產業」，參見聯電提交給美國證券交易委員會的UMC Form 20-F, 2016, p. 27.

5 加入聯電：Paul Mozur, "Inside a Heist of American Chip Designs, as China Bids for Tech Power," *New York Times*, June 22, 2018.

6 開始竊聽王永銘的電話、收集證據：同前.

7 在中國銷售26種產品：Yap, "Micron Barred from Selling Some Products in China."

8 欺負落後國家的東西：https://www.storm.mg/article/1358975?mode=whole, tr. Wei-Ting Chen.

9 迅速死灰復燃：David E. Sanger and Steven Lee Meyers, "After a Hiatus, China Accelerates Cyberspying Efforts to Obtain U.S. Technology," *New York Times*, November 29, 2018.

10 判決本身仍是祕密：Advanced Micro-Fabrication Equipment Inc., "AMEC Wins Injunction in Patent Infringement Dispute Involving Veeco Instruments (Shanghai) Co. Ltd.," *PR Newswire*, December 8, 2017, https://www.prnewswire.com/news-releases/amec-wins-injunction-in-patent-infringement-dispute-involving-veeco-instruments-shanghai-co-ltd-300569295.html; Mark Cohen, "Semiconductor Patent Litigation Part 2: Nationalism, Transparency and Rule of Law," *China IPR*, July 4, 2018, https://chinaipr.com/2018/07/04/semiconductor-patent-litigation-part-2-nationalism-

transparency-and-rule-of-law/; “Veeco Instruments Inc., Plaintiff, against SGL Carbon, LLC, and SGL Group SE, Defendants,” United States District Court Eastern District of New York, https://chinaipr2.files.wordpress.com/2018/07/uscourts-nyed-1_17-cv-02217-0.pdf.

11 對晉華實施財務制裁：Kate O'Keeffe, “U.S. Adopts New Battle Plan to Fight China's Theft of Trade Secrets,” *Wall Street Journal*, November 12, 2018.

12 不會削弱美國對晉華的限制：訪問五位在華盛頓與東京的政府官員, 2019-2021.

13 我們幹嘛不這樣做？訪問前資深官員, 2021.

14 陷入停頓：James Politi, Emily Feng, and Kathrin Hille, “US Targets China Chipmaker over Security Concerns,” *Financial Times*, October 30, 2018.

第五十一章　對華為的攻擊

1 他們什麼都知道：Dan Strumpf and Katy Stech Ferek, “U.S. Tightens Restrictions on Huawei's Access to Chips,” *Wall Street Journal*, August 17, 2020.

2 享用創新的成果：Turpin quoted in Elizabeth C. Economy, *The World According to China* (Wiley, 2021).

3 一切錯誤：訪問兩位川普政府的資深官員, 2021.

4 更好的問題：Peter Hartcher, *Red Zone: China's Challenge and Australia's Future* (Black Inc., 2021), pp. 18-19.

5 前公司高管：Alicja Ptak and Justyna Pawlak, “Polish Trial Begins in Huawei-Linked China Espionage Case,” Reuters, June 1, 2021.

6 悄悄實施了嚴格的限制：Mathieu Rosemain and Gwenaelle Barzic, “Exclusive: French Limits on Huawei 5G Equipment Amount to De Facto Ban by 2028,” Reuters, July 22, 2020.

7 可能面對的「後果」：Katrin Bennhold and Jack Ewing, “In Huawei Battle, China Threatens Germany ‘Where It Hurts': Automakers,” *New York Times*, January 16, 2020.

8 在網路安全運作上的缺陷：Gordon Corera, “Huawei ‘Failed to Improve UK Security Standards,’ ” BBC News, October 1, 2020.

9 袖手旁觀：Robert Hannigan, “Blanket Bans on Chinese Tech Companies like Huawei Make No Sense,” *Financial Times*, February 12, 2019.

10 美國對伊朗的制裁：Shayna Jacobs and Amanda Coletta, “Meng Wanzhou Can Return to China, Admits Helping Huawei Conceal Dealings in Iran,” *Washington Post*, September 24, 2021.

11 卻讓華為使用美國的設計：James Politi and Kiran Stacey, “US Escalates China Tensions with Tighter Huawei Controls,” *Financial Times*, May 15, 2020.

12 「武器化的互賴關係」（weaponized interdependence）：Henry Farrell and Abraham L. Newman, “Weaponized Interdependence: How Global Economic Networks Shape State Coercion,” *International Security* 44, No. 1 (2019): 42-79.

13 加強對華為的限制：“Commerce Addresses Huawei's Efforts to Undermine Entity List, Restricts Products Designed and Produced with U.S. Technologies,” U.S. Department of

Commerce, May 15, 2020, https://2017-2021.commerce.gov/news/press-releases/2020/05/commerce-addresses-huaweis-efforts-undermine-entity-list-restricts.html.

14 遵守法規的精神：Kathrin Hille and Kiran Stacey, "TSMC Falls into Line with US Export Controls on Huawei," *Financial Times*, June 9, 2020.

15 拆分出去："Huawei Said to Sell Key Server Division Due to U.S. Blacklisting," *Bloomberg*, November 2, 2021.

16 無法獲得必要的晶片：Craig S. Smith, "How the Huawei Fight Is Changing the Face of 5G," *IEEE Spectrum*, September 29, 2021.

17 已被拖延：Lauly Li and Kenji Kawase, "Huawei and ZTE Slow Down China 5G Rollout as US Curbs Start to Bite," *Nikkei Asia*, August 19, 2020.

18 中國公司：Alexandra Alper, Toby Sterling, and Stephen Nellis, "Trump Administration Pressed Dutch Hard to Cancel China Chip-Equipment Sale: Sources," Reuters, January 6, 2020.

19 列入黑名單：Industry and Security Bureau, "Addition of Entities to the Entity List and Revision of an Entry on the Entity List," Federal Register, June 24, 2019, https://www.federalregister.gov/documents/2019/06/24/2019-13245/addition-of-entities-to-the-entity-list-and-revision-of-an-entry-on-the-entity-list.

20 飛騰也是如此：Ellen Nakashima and Gerry Shih, "China Builds Advanced Weapons Systems Using American Chip Technology," *Washington Post*, April 9, 2021.

21 「不可靠的實體名單」：Zhong Shan, "MOFCOM Order No. 4 of 2020 on Provisions on the Unreliable Entity List," Order of the Ministry of Commerce of the People's Republic of China, September 19, 2020, http://english.mofcom.gov.cn/article/policyrelease/questions/202009/20200903002580.shtml.

22 美事一樁：訪問前資深美國官員, 2021.

第五十二章　中國的史普尼克危機？

1 招募人力：Cheng Ting-Fang and Lauly Li, "How China's Chip Industry Defied the Coronavirus Lockdown," *Nikkei Asia*, March 18, 2020.

2 技術上的主導地位：Dan Wang, "China's Sputnik Moment?" *Foreign Affairs*, July 29, 2021.

3 「晶片沙皇」："Xi Jinping Picks Top Lieutenant to Lead China's Chip Battle Against U.S.," *Bloomberg*, June 16, 2021.

4 還有待觀察：新聞標題提到，中國準備斥資高達1.4兆美元以補貼技術。這類標題不該認真看待。中國已批准了名目價值約1.5兆億美元的產業「引導基金」，主要是由地方政府募集與使用。然而，這些資金並不完全集中在技術上；官方指導原則允許這些資金不僅用於「戰略性新興產業」，也用於基礎設施與社會住房。因此，就像中國的許多投資專案一樣，這筆錢中的一部分很可能最終只是用於補貼更多的房地產開發，而不是支持半導體業。Tianlei Huang, "Government-Guided Funds in China: Financing Vehicles for State Industrial Policy," *PIIE*, June 17, 2019, https://www.piie.com/blogs/china-economic-watch/government-guided-funds-china-financing-vehicles-state-industrial-policy; Tang Ziyi and Xue Xiaoli, "Four Things to Know About China's $670 Billion Government Guidance Funds," *Caixin Global*, February 25, 2020.

5 「沒經驗、沒技術、沒人才」：HSMC investigation by Qiu Xiaofen and Su Jianxun, Yang

Xuan, ed., tr. Alexander Boyd, in Jordan Schneider, "Billion Dollar Heist: How Scammers Rode China's Chip Boom to Riches," ChinaTalk, March 30, 2021, https://chinatalk.substack.com/p/billion-dollar-heist-how-scammers; Luo Guoping and Mo Yelin, "Wuhan's Troubled $18.5 Billion Chipmaking Project Isn't as Special as Local Officials Claimed," *Caixin Global*, September 4, 2020.

6 造價3億美元：Toby Sterling, "Intel Orders ASML System for Well Over $340 mln in Quest for Chipmaking Edge," Reuters, January 19, 2022.

7 從美國遷到瑞士：David Manners, "RISC-V Foundation Moves to Switzerland," *Electronics Weekly*, November 26, 2019.

8 搶生意：Dylan Patel, "China Has Built the World's Most Expensive Silicon Carbide Fab, but Numbers Don't Add Up," SemiAnalysis, September 30, 2021, https://semianalysis.com/china-has-built-the-worlds-most-expensive-silicon-carbide-fab-but-numbers-dont-add-up/.

9 2030年的24%：Varas et al., "Government Incentives and US Competitiveness in Semiconductor Manufacturing."

10 實現中國夢：Cheng Ting-Fang and Lauly Li, "How China's Chip Industry Defied the Coronavirus Lockdown," *Nikkei Asia*, March 18, 2020.

第五十三章　短缺與供應鏈

1 我們必須加油："Remarks by President Biden at a Virtual CEO Summit on Semiconductor and Supply Chain Resilience," The White House, April 12, 2021; Alex Fang and Yifan Yu, "US to Lead World Again, Biden Tells CEOs at Semiconductor Summit," *Nikkei Asia*, April 13, 2021.

2 2100億美元的收入損失：AAPC Submission to the BIS Commerce Department Semiconductor Supply Chain Review, April 5, 2021; Michael Wayland, "Chip Shortage Expected to Cost Auto Industry $210 Billion in Revenue in 2021," CNBC, September 23, 2021.

3 成長了13%："Semiconductor Units Forecast to Exceed 1 Trillion Devices Again in 2021," *IC Insights*, April 7, 2021, https://www.icinsights.com/news/bulletins/Semiconductor-Units-Forecast-To-Exceed-1-Trillion-Devices-Again-fn-2021/.

4 「與產業界、盟友、夥伴」合作："Fact Sheet: Biden-Harris Administration Announces Supply Chain Disruptions Task Force," June 8, 2021, https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/06/08/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-supply-chain-disruptions-task-force-to-address-short-term-supply-chain-discontinuities/.

5 維持半導體強國的地位：Kotaro Hosokawa, "Samsung Turns South Korea Garrison City into Chipmaking Boom Town," *Nikkei Asia*, June 20, 2021.

6 「經濟因素」：Jiyoung Sohn, "Samsung to Invest $205 Billion in Chip, Biotech Expansion," Wall Street Journal, August 24, 2021; Song Jung-a and Edward White, "South Korean PM Backs Early Return to Work for Paroled Samsung Chief Lee Jae-yong," *Financial Times*, August 30, 2021.

7 中國無錫的工廠：Stephen Nellis, Joyce Lee, and Toby Sterling, "Exclusive: U.S.-China Tech War Clouds SK Hynix's Plans for a Key Chip Factory," Reuters, November 17, 2021.

8 更有競爭力：Brad W. Setser, “Shadow FX Intervention in Taiwan: Solving a 100+ Billion Dollar Enigma (Part 1),” Council on Foreign Relations, October 3, 2019.

9 讓歐洲的晶圓廠處於領先地位：“Speech by Commissioner Thierry Breton at Hannover Messe Digital Days,” European Commission, July 15, 2020.

10 合作設立一家新的晶片製造廠：Cheng Ting-Fang and Lauly Li, “TSMC Says It Will Build First Japan Chip Plant with Sony,” *Nikkei Asia*, November 9, 2021.

11 我們可以決定晶圓廠在哪裡：Christiaan Hetzner, “Intel CEO Says ‘Big, Honkin’ Fab’ Planned for Europe Will Be World's Most Advanced,” *Fortune, September* 10, 2021; Leo Kelion, “Intel Chief Pat Gelsinger: Too Many Chips Made in Asia,” BBC News, March 24, 2021.

第五十四章　台灣的兩難

1 你的客戶擔心嗎？“Edited Transcript: 2330.TW-Q2 2021 Taiwan Semiconductor Manufacturing Co Ltd Earnings Call,” *Refinitiv*, July 15, 2021, https://investor.tsmc.com/english/encrypt/$les/encrypt_file/reports/2021-10/44ec4960f6771366a2b992ace4ae47566d7206a6/TSMC%202Q21%20transcript.pdf

2 一邊發動砲擊：Liu Xuanzun, “PLA Holds Beach Assault Drills After US Military Aircraft's Taiwan Island Landing,” *Global Times*, July 18, 2021.

3 堅決捍衛國家主權與領土完整：Liu Xuanzun, “PLA Holds Drills in All Major Chinese Sea Areas Amid Consecutive US Military Provocations,” *Global Times*, July 20, 2021.

4 像切香腸一樣：Chris Dougherty, Jennie Matuschak, and Ripley Hunter, “The Poison Frog Strategy,” Center for a New American Security, October 26, 2021.

5 也會是一場硬戰：“Military and Security Developments Involving the People's Republic of China,” Annual Report to Congress, Office of the Secretary of Defense, 2020, p. 114.

6 中國軍事系統：Lonnie Henley, “PLA Operational Concepts and Centers of Gravity in a Taiwan Conflict,” testimony before the U.S.-China Economic and Security Review Commission Hearing on Cross-Strait Deterrence, February 18, 2021.

7 「非和平方式」：Michael J. Green, “What Is the U.S. ‘One China’ Policy, and Why Does it Matter?” Center for Strategic and International Studies, January 13, 2017.

8 機台的生產面臨延誤：Debby Wu, “Chip Linchpin ASML Joins Carmakers Warning of Vicious Cycle,” *Bloomberg*, January 19, 2022.

9 破壞全球供應鏈：Tsai Ing-wen, “Taiwan and the Fight for Democracy,” *Foreign Affairs*, November-December 2021.

10 不可能（17%）：Sherry Hsiao, “Most Say Cross-Strait War Unlikely: Poll,” *Taipei Times*, October 21, 2020.

11 面臨痛苦的延遲：Ivan Cheberko, “Kosmicheskii Mashtab Importozameshcheniia,” *Vedomosti*, September 27, 2020.

12 外國的微電子：Jack Watling and Nick Reynolds, “Operation Z: The Death Throes of an Imperial Delusion,” Royal United Services Institute, April 22, 2022, pp. 10-12.

13 無導引的：Michael Simpson et al., “Road to Damascus: The Russian Air Campaign in Syria,” Rand Corporation, RR-A1170-1, 2022, p. 80.

14 兩百多個半導體：Rebecca Shabad, “Biden Emphasizes the Need to Keep Arming Ukraine in Tour of Alabama Weapons Plant,” CNBC, May 3, 2022.

15 某些類型的晶片：Sebastian Moss, “Intel and AMD Halt Chip Sales to Russia, TSMC Joins in on Sanctions,” Data Center Dynamics, February 28, 2022, https://www.datacenterdynamics.com/en/news/intel-and-amd-halt-chip-sales-to-russia-tsmc-joins-in-on-sanctions/.

16 部署在飛彈系統中：Jeanne Whalen, “Sanctions Forcing Russia to Use Appliance Parts in Military Gear,” *Washington Post*, May 11, 2022.

17 「我們必須把台積電搶到中國手裡」：“Top Economist Urges China to Seize TSMC if US Ramps Up Sanctions,” *Bloomberg News*, June 7, 2022.

18 導彈防禦系統：Keoni Everington, “China Expands Its 2 Air Force Bases Closest to Taiwan,” *Taiwan News*, March 8, 2021; Minnie Chan, “Upgrades for Chinese Military Airbases Facing Taiwan Hint at War Plans,” *South China Morning Post*, October 15, 2021; “Major Construction Underway at Three of China's Airbases Closest to Taiwan,” Drive, October 13, 2021.

結語

1 都可以用半導體材料製造：Jack Kilby, “Invention of the Integrated Circuit,” *IEEE Transactions on Electron Devices* 23, No. 7 (July 1976): 650.

2 優秀工程師：Paul G. Gillespie, “Precision Guided Munitions: Constructing a Bomb More Potent Than the A-Bomb,” PhD dissertation, Lehigh University, p. 115. 根據沃德過世後可連上的LinkedIn頁面，他似乎1953年起在德儀工作，但我無法證實這點。

3 「家用電腦」：Gordon E. Moore, “Cramming More Components onto Integrated Circuits,” *Electronics* 38, No. 8 (April 19, 1965).

4 最終會超過人體細胞的數量：Dan Hutcheson, “Graphic: Transistor Production Has Reached Astronomical Scales,” IEEE Spectrum, April 2, 2015.

5 「我——要——去——賺——大——錢。」：Michael Malone, *The Intel Trinity* (Michael CoUins, 2014), p. 31.

6 摩爾定律已死：John Hennessy, “The End of Moore's Law and Faster General-Purpose Processors, and a New Path Forward,” National Science Foundation, CISE Distinguished Lecture, November 22, 2019, https://www.nsf.gov/events/event_summjsp?cntn_id=299531&org=NSF.

7 晶片業衝破了那個障礙：Andrey Ovsyannikov, “Update from Intel: Insights into Intel Innovations for HPC and AI,” Intel, September 26, 2019, https://www2.cisl.ucar.edu/sites/default/files/Ovsyannikov%20-%20MC9%20-%20Presentation%20Slides.pdf.

8 半導體科學家：Gordon E. Moore, “No Exponential Is Forever: But ‘Forever’ Can Be Delayed!” IEEE International Solid-State Circuits Conference, 2003.

9 100倍電晶體數量：Hoeneisen and Mead, “Fundamental Limitations on Microelectronics,” pp. 819-829; Scotten Jones, “TSMC and Samsung 5nm Comparison,” *SemiWiki*, May 3, 2019, https://semiwiki.com/semiconductor-manufacturers/samsung-foundry/8157-tsmc-and-samsung-5nm-comparison/.

10 密度提高50倍：“Jim Keller: Moore's Law Is Not Dead,” UC Berkeley EECS Events, YouTube Video, September 18, 2019, 22:00, https://www.youtube.com/watch?v=oIG9ztQw2Gc.

11 通用晶片：Neil C. Thompson and Svenja Spanuth, “The Decline of Computers as a General Purpose Technology: Why Deep Learning and the End of Moore's Law Are Fragmenting Computing,” working paper, MIT, November 2018, https://ide.mit.edu/wp-content/up10ads/2018/11/SSRN-id3287769.pdf.

12 比以往更容易了：“Heterogeneous Compute: The Paradigm Shift No One Is Talking About,” *Fabricated Knowledge*, February 19, 2020, https://www.fabricatedknowledge.com/p/heterogeneous-compute-the-paradigm.

13 也將塑造我們的未來：Kevin Xu, “Morris Chang's Last Speech,” *Interconnected*, September 12, 2021, https://interconnected.blog/morris-changs-last-speech/.

天下財經 **484**

晶片戰爭

CHIP WAR: The Fight for the World's Most Critical Technology

作者／克里斯．米勒（Chris Miller）

譯者／洪慧芳

封面設計／Javick工作室

內頁排版／邱介惠

責任編輯／許湘

天下雜誌群創辦人／殷允芃

天下雜誌董事長／吳迎春

出版部總編輯／吳韻儀

出版者／天下雜誌股份有限公司

地址／台北市 104 南京東路二段 139 號 11 樓

讀者服務／（02）2662-0332　傳真／（02）2662-6048

天下雜誌GROUP網址／http://www.cw.com.tw

劃撥帳號／01895001天下雜誌股份有限公司

法律顧問／台英國際商務法律事務所．羅明通律師

製版印刷／中原造像股份有限公司

總經銷／大和圖書有限公司　電話／（02）8990-2588

出版日期／2023 年 3 月 1 日第一版第一次印行

Copyright © 2022 by Christopher Miller

Published by arrangement with the original publisher, Scribner,

a Division of Simon & Schuster, Inc

This edition is published by arrangement with Scribner

through Andrew Nurnberg Associates International Limited.

Complex Chinese Translation copyright © 2023 by CommonWealth Magazine Co., Ltd.
ALL RIGHTS RESERVED

書號：BCCF0484P
ISBN：978-986-398-854-0(EPUB)_V1

直營門市書香花園　地址／台北市建國北路二段6巷11號　電話／（02）2506-1635
天下網路書店　shop.cwbook.com.tw
天下雜誌我讀網　http://books.cw.com.tw/
天下讀者俱樂部 Facebook　http://www.facebook.com/cwbookclub